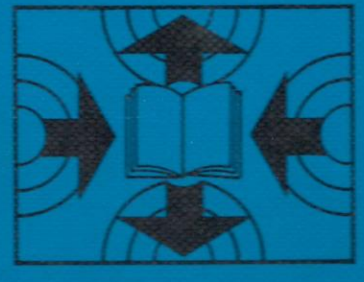
المملكة العربيّة السعودية   وزارة المعارف

الإدارة العامة للتعليم الفني

تكنولوجيا الكهرباء

للمدارس المهنيّة الثانويّة



الصف الأول والثاني

قررت وزارة المعارف تدريس هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

تكنولوچيا الكهرباء



تكنولوجيا الكهرباء

الصّف الأول والثاني
للمدارس المهنيَّة الثانويَّة

تأليف :
روبرت أرنولد

الحمد لله الذي تتم بنعمه الصالحات
تم بحمد الله نسخ الكتاب اسكنر
نسألكم الدعاء لي ولوالدي بظهر الغيب اخوكم في الله
أبو عبد الله
عبد المهيمن فوزي

طبع على نفقة وزارة المعارف - يوزّع مجّانًا ولا يباع

1st Arabic Edition 1979
ISBN 3–88301–005–7

Title of the original German edition:

„Fachkunde für Elektroberufe", Teil I, 1st edition
Copyright 1972: Ernst Klett Verlag, Stuttgart

Translation and Production:
Interpart, Stuttgart/Federal Republic of Germany

By order of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH – German Agency for Technical Cooperation, Ltd. (GTZ) – within the scope of the technical co-operation between the Kingdom of Saudi Arabia and the Federal Republic of Germany.

Typeset and printed in the Federal Republic of Germany

الطبعة الأولى باللغة العربية ١٩٧٩
ISBN 3–88301–005–7

عنوان الطبعة الأصلية باللغة الألمانية
„Fachkunde für Elektroberufe"
الجزء الأول – الطبعة الأولى

حقوق الطبع لعام ١٩٧٢ : محفوظة لدار النشر «إرنست كليت» شتوتغارت – جمهورية ألمانيا الاتحادية

قام بالترجمة والإنتاج
إنترپارت – شتوتغارت – جمهورية ألمانيا الاتحادية

بتكليف من الهيئة الألمانية للتعاون الفني – هيئة ذات مسئولية محدودة
Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
في إطار التعاون الفني بين المملكة العربية السعودية وجمهورية ألمانيا الاتحادية.

تم التجميع والطبع في جمهورية ألمانيا الاتحادية

مقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

اقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ (1) خَلَقَ الْإِنْسَانَ
مِنْ عَلَقٍ (2) اقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ (3) الَّذِي عَلَّمَ
بِالْقَلَمِ (4) عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ (5)

صدق الله العظيم

أخي الطالب،

أنك يا أخي أهم ثروة يملكها الوطن الغالي، فلا الثروة البترولية ولا الثروة المعدنية تضمن لنا التقدم والازدهار، فكلها زائل طال الزمن أو قصر، ولكن تمسكك يا أخي الطالب بعقيدتك الإسلامية ومبادئ دينك الحنيف وحضارتك العريقة وبالعلم النافع، ومعرفتك بالتكنولوچيا الحديثة واستفادتك الكاملة من التقدم التقني، هذه جميعها بعون الله وقوته تضمن لنا التقدم والازدهار والمنعة.

لهذا فإنه يسعدني أن أقدم لك هدية وزارة المعارف:

«تكنولوچيا الكهرباء»
للمدارس المهنية الثانوية

والله من وراء القصد ... وهو ولي التوفيق ...

مدير عام التعليم الفني

الدكتور المهندس / محمد حامد المطبقاني

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم فني للكتاب :

لقد كان لاكتشاف الكهرباء أثر عميق في تغيير وتطوير نظام الحياة البشرية وإمكاناتها . ومنذ ظهور ذلك الأكتشاف العظيم سار ركب التقدم والمدنية قدما مع تطور الاكتشافات والاختراعات التي طرأت في مجال الكهرباء . أما اليوم فقد أصبحت الطاقة الكهربائية عاملا أساسيا من عوامل رفاهية البشر وعنصرا فعالا لا غناء عنه في حياتنا اليومية . فلا يمكن أن نتصور اليوم أن تسير حياتنا اليومية على نفس النهج والمنوال إذا ما افترضنا عدم وجود الكهرباء . فهي تدخل في أغور أعماق نظمنا المعيشية وفي كل آن ولحظة إذ بها تضاء أماكن العمل والسكن والتعامل والشوارع ويدار دولاب العمل في المصانع والمكاتب . كما تستمد منها الطاقة لتحريك وسائل النقل والانتقال المختلفة . كما نستطيع بواسطتها أن نهيئ الظروف المناخية ولو موضعيا . كما أنها تدخل في وسائل الطب والفحص والعلاج إلى جانب أعداد لا مجال لحصرها من مجالات الاستخدام .

ولما كان لهذا العامل الحيوي أهمية كبيرة في حياة وتطور وتقدم نظمنا المعيشية ، فعلينا أن ندرس خصائصه وصفاته ومجالات استخدامه والاستفادة منه عملا على زيادة رفاهية البشر وتسهيل سبل المعيشة .

ويقدم هذا الكتاب المبادئ الأساسية والعلمية للمغنطيسية التي ترتبط إرتباطا وثيقا بتوليد التيار الكهربائي في الحياة العملية ثم ينتقل إلى الكهرباء شارحا صفاتها وخصائصها وأنواعها بالإضافة إلى بعض الأجهزة والمعدات والتوصيلات وطرقها وفوائدها واختباراتها .

ونظرا لأن هذا الكتاب مستندا على المواصفات القياسية DIN فقد اتفق على ترك الرموز غير المصنفة في النظام الدولي SI كما هي بأصل الكتاب الألماني .

وإننا نأمل بتقديم هذا الكتاب إلى الطالب والقارئ العربي أن يكون عونا على تفهم ومعرفة الأسس العلمية وعضدا وسندا في التطور العلمي وعاملا على رفع وتطوير المفاهيم التكنولوجية للمواطن العربي ودعامة تعضد تقدم الفنون العلمية في الوطن العربي .

كلل الله الأعمال البناءة بالنجاح .
والله وليُّ التوفيق .

محتويـات الكتـاب

الجداول

١-١ تركيب المـادة

١-١-١ المواد الأسـاسية - الذرات

يعرّف العلماء المتخصصون في العلوم الطبيعية جميع مكوّنات الـكون والتي نستشعر وجودها بمالنا من حواس على أنها مادة . تتكون كلها من جسيمات متناهية الصغر هي الذرات . وإذا حاولنا صف مائة مليون من الذرات لتصبح مرصوصة متجاورة فإنها تشغل حيزا طوله نحو عشرة مليمترات .

المواد الأسـاسية أو العناصر الـكيميائية : هي مواد لا يمكن تحليلها إلى مواد أخرى بطرق كيميائية أو ميكانيكية كما لا يمكن أن تنشأ نتيجة لاتحاد مواد أخرى . إلا أنه قد أمكن لعلماء الفيزياء النووية تحويل كميات ضئيلة نسبيا من العناصر إلى أخرى واستحداث عناصر جديدة .

وقد أثبت العلم أن كل المواد الموجودة في عالمنا وإن كانت تختلف في خواصها ، فهي تتكون من المواد الأسـاسية أو العناصر التي أمكن التعرف عليها حتى الآن ، والتي يبلغ عددها مائة وأربع (الجدول بصفحتي ٩ و ١٠) .

ملاحظة : إنّ كل ذرات عنصر مُعيَّن متماثلة وتبدو في تركيبها مثل تركيب المـادة ذاتها . إلا أن كتلتها وخواصها الأخرى تختلف عن نظيراتها في العناصر الأخرى . لذلك توجد أنواع عديدة من الذرات بقدر ما يوجد من العناصر . وعلى هذا فإن عنصر النحاس مثلا لا يتكوّن إلا من ذرات النحاس المتماثلة .

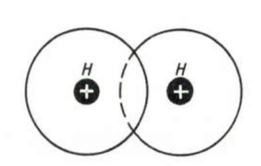
العناصر الـكيميائية (المواد الأسـاسية) التكملة على ص ١٠

العدد الذرّي	إسم العنصر	الرمز	الـكتلة النسبية للذرة Ar	الـكثافة kg/dm³
1	هيدروجين	H	1,008	–
6	كربون	C	12,01	–
	جرافيت			2,25
7	نيتروجين (أزوت)	N	14,01	–
8	أكسيجين	O	16	–
13	ألومنيوم	Al	26,98	2,7
14	سليكون	Si	28,06	2,4
22	تيتانيوم	Ti	47,90	4,5
26	حديد	Fe	55,85	7,9
29	نحاس	Cu	63,57	8,9
30	خارصين (زنك)	Zn	65,37	7,1
32	جرمنيوم	Ge	72,59	5,4
34	سلنيوم	Se	78,96	4,8
41	نيوبيوم	Nb	92,91	8,6

العناصر الكيميائية (المواد الأساسية) تكملة صفحة ٩

العدد الذرّي	إسم العنصر	الرمز	الكتلة النسبية للذرة Ar	الكثافة kg/dm^3
47	فضة	Ag	107,88	10,5
50	قصدير	Sn	118,70	7,3
51	أنتيمون	Sb	121,76	6,7
73	تنتالوم	Ta	180,90	16,6
82	رصاص	Pb	207,21	11,3

يحتوي جدول صفحة ٩ وصفحة ١٠ على مختارات من العناصر الكيميائية
العدد الذري (شحنة النواة) = عدد الإلكترونات والبروتونات
الكتلة النسبية للذرة − شحنة النواة = عدد النيوترونات
الكتلة النسبية للذرة هي عدد يدل على النسبة بين وزن ذرة العنصر إلى $\frac{1}{12}$ من وزن ذرة الكربون.



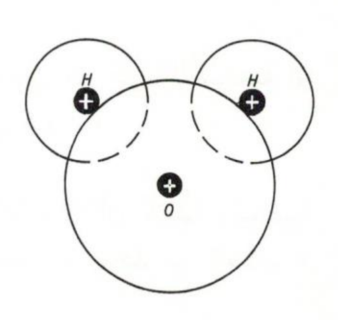
١٠ − ١ ينتج جزيء الهيدروجين (H_2) من اتحاد ذرتي هيدروجين (H).

١−١−٢ الجُزَيْئات − المركبات الكيميائية

تتحد ذرات العديد من العناصر مع بعضها وعند اتحادها − سواء كانت ذرات متماثلة أو مختلفة − فإن هذه الذرات المتحدة تسمى جزيئات، وأبسط تركيب للجزيْء هو الذي يتكون من ذرتين.

- الجزيئات هي اتحاد بين الذرات، وتتكوّن جزيئات العنصر الواحد من ذرات متشابهة (شكل ١٠−١).

- وعندما تتحد ذرات مختلفة لتكوين جُزَيْء ينتج المركَّب الكيميائي. وتختلف خواصه عن خواص العناصر الداخلة في تركيبه (شكل ١٠ − ٢).



١٠ − ٢ ينتج جزيء الماء (H_2O) من اتحاد ذرة أكسيجين (O) وذرتي هيدروجين (H).

١−٢ تركيب الذرات

١−٢−١ نموذج الذرة المبَسَّط

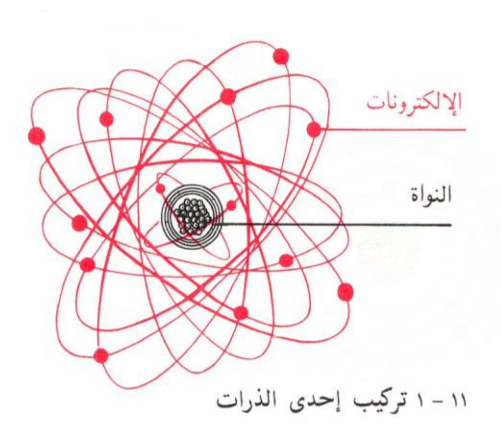
ظلَّ الإنسان حتى مطلع القرن العشرين يعتقد أن الذرة هي أصغر المكونات في الوجود وأنه لا يمكن تقسيمها إلى ما هو أصغر منها. أما الآن فنعرف أن الذرة تتكون من نواة وإلكترونات. وطبقا للنموذج جلي الوضوح للعالم الفيزيائي الدانمركي نيلز بور Niels Bohr ١٨٨٥ − ١٩٦٢، تدور الإلكترونات حول النواة بسرعة كبيرة وتبعد مسافات مختلفة عن مركز النواة. ولا تقع مدارات الإلكترونات في مستوى واحد بل تكون أغلفة كروية بداخل بعضها البعض تحيط بالنواة (شكل ١١ − ١).

ملاحظة : تكوّن الإلكترونات التي تدور حول النواة سحابة إلكترونية على هيئة أغلفة.

وذرة الهيدروجين هي أبسط الذرات في بنيتها إذ يدور حول نواتها إلكترون واحد فقط (شكل ١١−٢أ). أما في الغلاف السحابي لذرة الأكسيجين فيوجد ثمانية إلكترونات (شكل ١١−٢ب). وطبقا للعالم نيلز بور فإنه يمكن أن يحيط بالنواة أغلفة يصل عددها إلى سبعة أغلفة حسب نوع الذرة. ولا يقبل كل غلاف إلكتروني سوى عدد محدود من

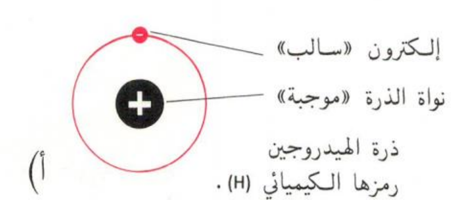
الإلـكترونات، ويحدَّد هذا العدد بالصيغة $2 \cdot (n^2)$ حيث n هو رقم الغلاف (شكل ١١–٣).

يدور 29 إلـكترونا حول نواة ذرة النحاس على مسافات مختلفة (أربعة أغلفة) من نواة الذرة. فالغلاف الداخلي (غلاف – K) هو أقربها للنواة وبه إلـكترونان. والغلاف الذي يليه هو غلاف – L وبه ثمانية إلـكترونات. والغلاف الثالث (غلاف – M) وبه ثمانية عشر إلـكترونا. أما الغلاف الرابع وهو أبعدها (في هذه الحالة) عن النواة فهو الغلاف – N ويحتوي على إلـكترون واحد (شكل ١٢–١).

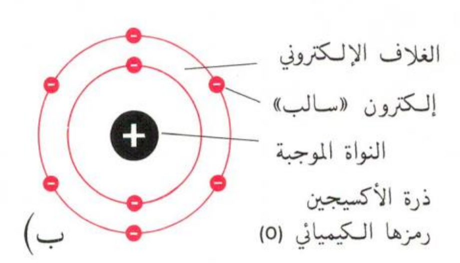


١١ – ١ تركيب إحدى الذرات

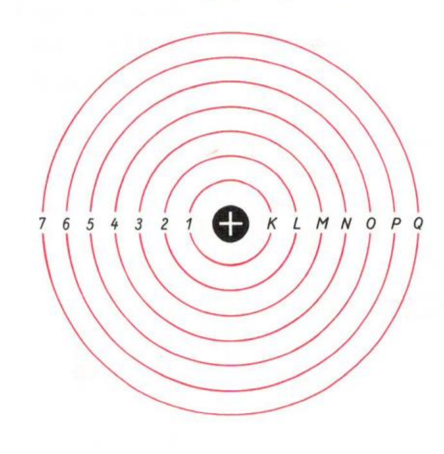
ومع أنه يوجد عدد أكبر من الإلـكترونات في الأغلفة الخارجية الأكبر بعدا عن الأغلفة التي تسبقها، إلا أن الغلاف الخارجي للذرة لا يمكن أن يحتوي على أكثر من ثمانية إلـكترونات. كما لا يمكن أن تكون الأغلفة الخامس والسادس والسابع كاملة العدد من الإلـكترونات، والسبب هو أن الإلـكترونات تبدأ في شغل الأماكن في أغلفة جديدة قبل أن يتم شغل كل الأماكن في الأغلفة السابقة. وتسمى العناصر التي تكتمل الأغلفة الخارجية في ذراتها تماما بالإلـكترونات أو تحتوي على ثمانية إلـكترونات في غلافها الخارجي، بالغازات الخاملة (هيليوم – نيون – أرجون... إلخ). والغلاف الخارجي لهذه العناصر مستقر بصفة خاصة وهي لذلك خاملة لا تدخل في تفاعلات كيميائية.



ملاحظة: تسمى الإلـكترونات الموجودة في الغلاف الخارجي للذرة إلـكترونات التكافؤ.



١١ – ٢ تمثيل مبسط
أ) لذرة هيدروجين
ب) لذرة أكسيجين

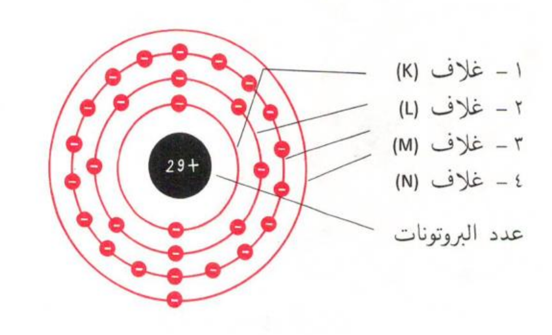


١١ – ٣ رموز الأغلفة الإلـكترونية

١–٢–٢ الإلـكترونات – البروتونات – النيوترونات – الشحنات الـكهربائية

كذلك فإن نواة الذرة لا تعتبر بدورها أصغر مكونات المادة، فهي تتكون من بروتونات شحنتها موجبة، ونيوترونات متعادلة الشحنة (غير مشحونة). ويطلق الفيزيائيون على مكوني النواة اسم النوويات (nucleon) (شكل ١٢–٢).

ملاحظة : تحمل البروتونات أصغر الشحنات الكهربائية الموجبة وتسمى بالشحنات الأولية ، والإلكترونات التي تدور حول النواة تحمل الشحنات الكهربائية الأولية السالبة .

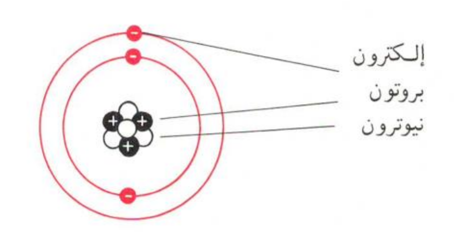


١٢ - ١ ذرة النحاس
(الرمز الكيميائي Cu)

وعادة ما تكون الذرة في مجموعها متعادلة الشحنة ، أي غير مشحونة بالنسبة للخارج ، لذلك فإن عدد الإلكترونات السالبة الشحنة لابد أن يتساوى مع عدد البروتونات الموجبة الشحنة ، فتصبح شحنتها متعادلة . وعلى هذا الأساس فإن ذرة النحاس المتعادلة تحتوى على 29 إلكترونا يقابلها في نواتها 29 بروتونا بجانب النيوترونات (أشكال ١٢-١ و ١٢-٢ و ١٢-٣) .

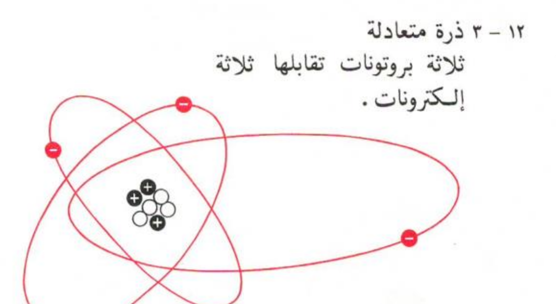
- يحتوي كل جسم متعادل كهربائيا (موصلا كان أم عازلا) على شحنات موجبة تعادل شحناته السالبة .

- ترتبط شحنة النواة الموجبة بكتلة ، بينما تعتبر الإلكترونات عديمة الكتلة تقريبا . وتزن الوحدة من مكونات النواة (بروتون أو نيوترون) نحو ألفي مرة قدر وزن الإلكترون .



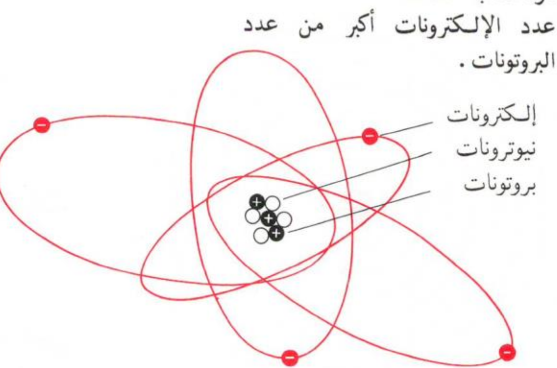
١٢ - ٢ ذرة الليثيوم المتعادلة
(الرمز الكيميائي Li - العدد الذري 3)

عند دلك قضيب من المطاط الصلد بقطعة من نسيج الصوف الجاف ، أو دلك قضيب من الزجاج بقطعة من نسيج الحرير (الحرير الطبيعي) نجد أنها تجذب قصاصات الورق أو شعيرات القطن . . . إلخ .

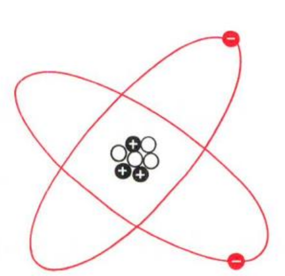


١٢ - ٣ ذرة متعادلة
ثلاثة بروتونات تقابلها ثلاثة إلكترونات .

ملاحظة : الشحنات الكهربائية هي السبب في حدوث قوة الجذب . فعند دلك قضيب المطاط الصلد تنتقل إلكترونات بشحنتها الكهربائية السالبة من نسيج الصوف إلى قضيب المطاط أي تغلب الشحنة السالبة في القضيب ويصبح لها تأثير خارجي . أما في نسيج



١٢ - ٤ ذرة سالبة الشحنة
عدد الإلكترونات أكبر من عدد البروتونات .



١٢ - ٥ ذرة ذات شحنة موجبة ، عدد الإلكترونات أقل من عدد البروتونات .

الصوف فتغلب الشحنة الموجبة ، على عكس سابقتها . وفي حالة دلك قضيب الزجاج نجد أن نسيج الحرير يسحب إلكترونات من قضيب الزجاج ، وفي هذه الحالة تغلب الشحنة الموجبة في قضيب الزجاج وتصبح فعّالة بالنسبة للخارج . ويحصل نسيج الحرير على شحنات إضافية سالبة .

- توجد شحنات كهربائية موجبة وأخرى سالبة .
- كل جسم به فائض في الإلكترونات تكون شحنته سالبة وكل جسم به نقص في الإلكترونات تكون شحنته موجبة (شكلا ١٢–٤ و ١٢–٥) .
- يجب فصل الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة في المواد عن بعضها البعض للحصول على شحنات حرة . ولكي يتم الفصل لابد من بذل شغل (في هذه الحالة مثلا بدلك المواد العازلة) .

١–٢–٣ تماسك الذرات

لقد أثبت العلماء أن للشحنات الموجبة والشحنات السالبة قوة تؤثر بها بعضها على بعض ، وأمكنهم التعرف على القاعدة التالية :

ملاحظة : الشحنات المتشابهة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب .

طبقا لهذه القاعدة يجب أن تكون هناك قوى مؤثرة بين نواة الذرة ذات الشحنة الكهربائية الموجبة والإلكترونات ذات الشحنة السالبة . فهناك قوة كهربائية تحاول جذب الإلكترونات إلى نواة الذرة . إلا أن الإلكترونات لا تستطيع أن تقترب من النواة بتأثير قوة الجذب هذه لأن القوة الطاردة المركزية الناتجة من الحركة الدورانية للإلكترونات تعمل على إبعاد الإلكترونات عن نواة الذرة . والقوة الطاردة المركزية هي قوة متجهة من المركز إلى الخارج وتتوازن مع قوة الجذب الكهربائي (شكل ١٣–١) . وتتنافر البروتونات الموجبة الشحنة والموجودة في الحيز الصغير للنواة مع بعضها البعض بسبب تشابه شحناتها ، إلا أن الجسيمات المتعادلة (النيوترونات) تقوم بمهمة إلغاء تأثير قوى التنافر هذه . وتزيد هذه النيوترونات من كتلة النواة دون زيادة شحنتها .

ملاحظة : تمنع النيوترونات ميل نواة الذرة إلى التفكُّك .

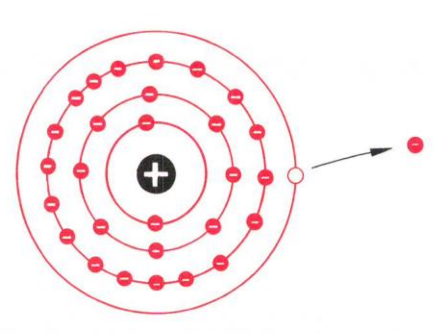
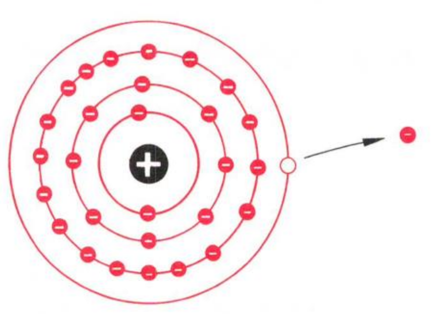
١٣ – ١ القوى المؤثرة على الإلكترون الذي يدور حول نواة الذرة .

١–٢–٤ إلكترونات التكافؤ – الأيونات

يمكن بإضافة طاقة (حرارة مثلا) أن تطرد الذرة إلكترونات التكافؤ من مدارها الخارجي أو تأخذ إلكترونات تكافؤ أخرى إلى مدارها الخارجي . وبذلك لن يكون عدد الإلكترونات مساويا لعدد البروتونات ، أي ستوجد ذرات ذات شحنات كهربائية موجبة أو سالبة وفعّالة بالنسبة للخارج (أشكال ١٢–٤ و١٢–٥ و ١٤–١) .

- تسمى الذرات المشحونة بشحنة موجبة أو سالبة أيونات (أيون يعني – باليونانية – متجوّل) .
- تسمى الذرات التي تنقصها إلكترونات أيونات موجبة أو كاتيونات .

١٤ - ١ تركيب ذرة النحاس. تتحول ذرة النحاس المحتوية على 29 بروتون إلى أيون نحاس عندما ينفصل إلكترون من الغلاف الخارجي عن الذرة، وبذلك يحدث نقص في الإلكترونات أي تتحول الذرة إلى أيون موجب أو ما يسمى بالكاثيون. أما الذرة التي يحدث فيها فائض في الإلكترونات فتسمى بالأيون السالب أو الأنيون.

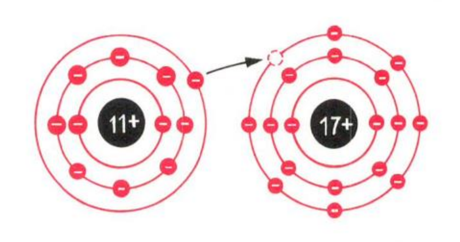



- تسمى الذرات التي تحتوي على فائض من الإلكترونات أيونات سالبة أو أنيونات.
- تتولّى الأيونات مهمة نقل الشحنات في الصمامات المملوءة بالغاز وفي السوائل الموصلة للكهرباء (الإلكتروليتات).

١٤ - ٢ الترابط بين ذرتي الصوديوم والكلور
$Na^{+} + Cl^{-} = NaCl$

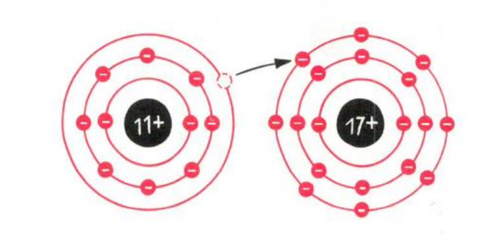
ذرة كلور		ذرة صوديوم
17^{+}	بروتونات	11^{+}
2^{-}	إلكترونات الغلاف (K)	2^{-}
8^{-}	إلكترونات الغلاف (L)	8^{-}
7^{-}	إلكترونات الغلاف (M)	1^{-}
± 0	الشحنة	± 0

أ) قبل الترابط



ذرة كلور		ذرة صوديوم
17^{+}	بروتونات	11^{+}
2^{-}	إلكترونات الغلاف (K)	2^{-}
8^{-}	إلكترونات الغلاف (L)	8^{-}
8^{-}	إلكترونات الغلاف (M)	0
1^{-}	الشحنة	1^{+}

ب) بعد الترابط



١-٢-٥ الترابط الأيوني

من المعروف أن ذرات الغازات الخاملة لا تشترك في أي تفاعل أو ارتباط كيميائي، فهي ذرات مستقرة، أي أن أغلفتها الخارجية تحتوي على ثمانية إلكترونات تكافؤ ويستثنى من ذلك غاز الهليوم الذي ليس له سوى غلاف K به إلكترونَيْ تكافؤ.

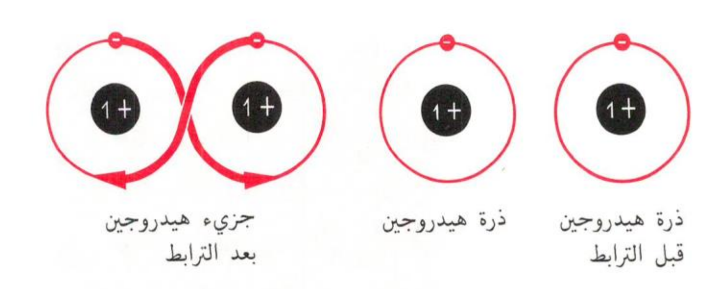
ويسعى الكثير من ذرات العناصر الأخرى إلى الوصول بأغلفتها الخارجية إلى حالة الاستقرار مثل أغلفة الغازات الخاملة، وقد تأخذ إلكترونات أو تعطيها في محاولتها هذه.

مثال: الترابط الأيوني بين ذرة الصوديوم وذرة الكلور (شكل ١٤-٢).

يمكن لكلتا الذرتين المتعادلتين الوصول إلى الحالة المسماة بحالة الغاز الخامل، وذلك بأن تعطي ذرة الصوديوم الإلكترون الموجود في غلافها M للغلاف M بذرة الكلور. وبذلك يصبح كل من الغلاف L لذرة الصوديوم والغلاف M لذرة الكلور مكتملا بثماني إلكترونات. وينشأ عن هذا ذرتان مشحونتان: ذرة الصوديوم الموجبة الشحنة (Na^{+})، وذرة الكلور السالبة الشحنة (Cl^{-}). ويتجاذب الأيونان الموجب والسالب ليكونا مركبا كيميائيا، كما في المثال (ملح الطعام) $Na^{+} + Cl^{-} = NaCl$. وجُزَيْء ملح الطعام متعادل رغم أنه يتكون من ذرتين غير متعادلتين.

ملاحظة: ينشأ الترابط الأيوني المسمى بالترابط الاستقطابي نتيجة لتأثير التجاذب المتبادل بين أيونين مختلفي الشحنة. ومثل هذا الترابط شائع الحدوث بين الفلزات واللافلزات.

١٥ - ١ مثال على الترابط الذري



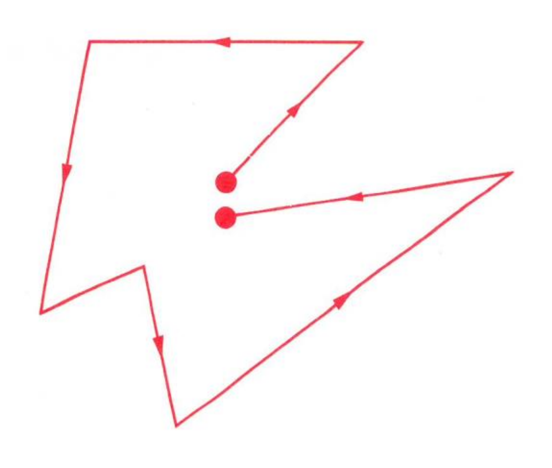
١-٢-٦ الترابط الذري

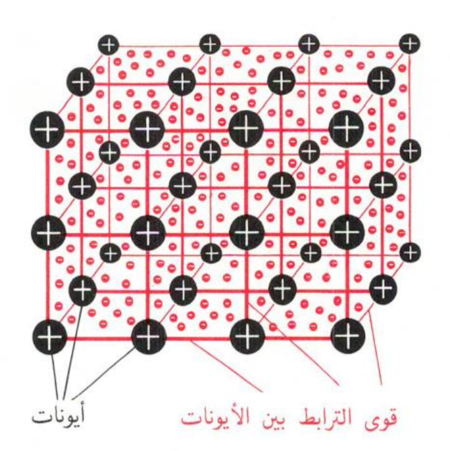
لا يمكن أن يتم تكوين جُزَيْء من ذرتي كلور أو ذرتي هيدروجين، على سبيل المثال بالترابط الأيوني. إلا أن الترابط يتم بواسطة اشتراك زوجين من إلـكترونات التكافؤ في الدوران حول ذرتين متجاورتين، وتصبح هذه الإلـكترونات حينئذ منتمية لكل من الذرتين في وقت واحد، بحيث تبقى كل ذرة متعادلة. ويوضح شكل (١٥-١) الترابط الذري بين ذرتين متماثلتين للهيدروجين لتكوين جُزَيْء الهيدروجين (H_2).

ملاحظة: عادة ما يحدث الترابط الذري (الترابط بواسطة زوج إلـكترونات) بين ذرات اللافلزات. إلا أنه يوجد أيضـا في بلورات أشباه الموصلات كالسيليكون والجرمانيوم.

١-٢-٧ الترابط الفلِزِّي (المعدني)

يمكن التحقُّق من أن المعادن تتكون من بنية بلورية عند سطح كسر في قطعة من النحاس مثلا أو سطوح المعادن المصقولة والمنمشة. ويعني ذلك أن ذراتها تكون مُنَسَّقة على هيئة بلّورات مرتبة في شكل شبكة. ولما كانت ذرات الفلزّات تحتوي على عدد قليل من إلـكترونات التكافؤ، فإن ترابطها أيونيا أو ذريا لا يمكن أن يؤدي إلى وضع مستقر، ولا يمكن التوصل إلى هذا الوضع المستقر إلا بتخلص كل ذرة من إلـكترونات التكافؤ. ويمكن أن يتحقق ذلك بالتسخين لإعطاء الحركة اللازمة (الحركة البراونية)، فبمجرد ارتفاع درجة الحرارة فوق الصفر المطلق (صفر كلفن $0°K$) تبدأ شبيكة البلورات في التحرك (شكل ١٦ - ١). وتبدأ نوى الذرات في الاهتزاز (التذبذب) حول مواقعها الثابتة، ويزداد الاهتزاز في الاتساع كلما ازدادت درجة الحرارة. وفي درجات الحرارة العالية جدا نجد أن نوى الذرات تهتز بعنف يكفي لكي ترسل المادة أشعة ضوئية، أي تتوهّج. وفي الموصلات الكهربائية الجيدة نجد أن إلـكترونات التكافؤ كلها تتحرر في درجة حرارة الغرفة، بينما في حالة أشباه الموصلات يكون رفع درجة الحرارة ضروريا. أما الأيونات الموجبة الباقية فتكوّن شبيكة البلورات (شكل ١٦-١)، وهي مشدودة إلى مواقعها في الشبيكة. وعلى سبيل المثال تكوّن بلّورة النحاس مكعب يقع أيون النحاس في كل ركن من أركانه وكذلك في وسط كل وجه من أوجهه. وفي هذه الشبيكة الفراغية تتحرك إلـكترونات التكافؤ الحرة، وتلك التي لا تنتمي لأي من الأيونات بسهولة في حركة غير منتظمة بين الأيونات على صورة سحابة إلـكترونية أو غاز إلـكتروني. وتتصادم الإلـكترونات الطليقة في الشبيكة الفراغية المتذبذبة ذهابا وإيابا متخذة مسارا متعرجا (شكل ١٦-٢) وتقطع مسافات طويلة بسرعة عالية (نحو 100 km/s). وينطبق هذا المسلك على جميع الفلزات.





١٦ - ١ تركيب الشبيكة الفراغية والسحابة الإلكترونية. تنتج الشبيكة الفراغية بتوصيل خطوط وهمية بين أيونات الذرة.

١٦ - ٢ الحركة المتعرجة لإلكترون. وتنشأ من التسخين دون تأثير أي جهد كهربائي.

ويحتوي $1\ mm^3$ من النحاس على $8{,}5 \times 10^{22}$ أيون نحاس وعدد مماثل من الإلكترونات الحرة. ولو تصورنا بلورة النحاس مكبَّرة بليون مرة فإن قطر الإلكترون حينئذ سيبلغ 3 mm، بينما يبلغ قطر نواة ذرة النحاس 10 mm والبعد بينهما في البلورة 360 m.

ملاحظة: الإلكترونات الحرة هي حاملة الشحنة الكهربائية في الفلزات.

تمرينات:

١ - ما هو الجزَيْء ؟
٢ - لماذا لا يعتبر النحاس الأصفر مادة أساسية ؟
٣ - من أي المواد الأساسية يتكون الكونستانتان ؟
٤ - صف تركيب ذرة النحاس ؟
٥ - أين يوجد الجزء الأكبر من كتلة الذرة ؟
٦ - كم عدد الإلكترونات التي تحتويها ذرة متعادلة إذا احتوت نواتها على 29 بروتونا و 34 نيوترونا ؟
٧ - ما هي وظيفة النيوترونات ؟
٨ - ما هي وظيفة إلكترونات التكافؤ ؟
٩ - كم عدد إلكترونات التكافؤ في ذرة غاز خامل ذي أربعة أغلفة مكتملة ؟
١٠ - ما هو المقصود بكلمة أيون ؟
١١ - ما معنى كلمة شبيكة البلورات ؟
١٢ - متى تصبح نُوَيّات الذرات في الشبيكة الفراغية ساكنة ؟
١٣ - ما اسم الترابط بين الذرات المشحونة كهربائيا لتكوين جزيئات ؟
١٤ - بماذا يسمى الترابط بين الذرات لتكوين جزيئات بمساعدة أزواج من الإلكترونات ؟
١٥ - مم يتكون أصغر الجسيمات في المركَّب الكيميائي ؟
١٦ - عند لمس ساق من النحاس باليد نحس بالبرودة لأن جلد اليد يعطي جزءا من طاقته الاهتزازية للنحاس. كيف نتصور الحال عندما يكون ساق النحاس أكثر سخونة من جلد اليد ؟
١٧ - اشرح لماذا يجب بذل شغل لفصل الشحنات الموجبة والسالبة عن بعضها البعض.
١٨ - اذكر بعض المواد التي يمكن شحنها كهربائيا بالدلك.
١٩ - ما هو نوع القوى المؤثرة عندما تتقابل شحنتان متضادتان ؟ أذكر مثالا لذلك.
٢٠ - كم عدد الإلكترونات التي يمكن أن تحتويها ذرة النحاس نظريا ؟ (أنظر ص ١١).
٢١ - كيف يمكن أن تبرهن بالتجربة على وجود شحنات كهربائية مختلفة النوع ؟

١-٣ الجهد الـكهربائي

١-٣-١ قانون كولوم

المعروف من البند ١-٢-٢ أن بين الشحنات الـكهربائية قوى متبادلة التأثير. وقد أمكن للعالم الفرنسي كولوم Coulomb (١٧٣٦-١٨٠٦) أن يحدد بالتجربة مقدار ومدى تأثير هذه القوى الـكهربائية. ولقد استعان في ذلك بميزان التواء وأمكنه إثبات ما يلي:

تتناسب قوى الجذب أو التنافر بين شحنتين كهربائيتين تناسبا طرديا مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين Q_1 و Q_2 وعكسيا مع مربع المسافة بينهما:

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

ولحساب قيمة القوة طبقا لهذا القانون حددت فيما بعد الوحدات المناسبة.

وقد اختير الكولوم Coulomb (C) كوحدة لـكمية الـكهرباء Q. ويكافئ الـكولوم واحد أمبير ثانية، أي أن 1 C = 1 As حيث 1 C ≙ كمية الـكهرباء في عدد قدره $6{,}25 \times 10^{18}$ من الإلـكترونات.

ملاحظة: يساوي الـكولوم كمية الـكهرباء Q التي تسري في زمن قدره ثانية واحدة إذا مر تيار كهربائي بشدة ثابتة قدرها أمبير واحد في مقطع موصل للتيار.

وبمراعاة النظام الدولي للوحدات SI فإن قانون كولوم في الفراغ يصبح:

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2}$$

نحصل على القوة F بالنيوتن (N) إذا كانت كمية الـكهرباء Q بالـكولوم (C) والمسافة r بالمتر. والثابت ε_0 هو ثابت المجال الـكهربائي (ثابت العازل) للفراغ ويبلغ $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$.

١-٣-٢ المجال الـكهربائي

١-٣-٢-١ خطوط المجال الـكهربائي وأشكال المجال

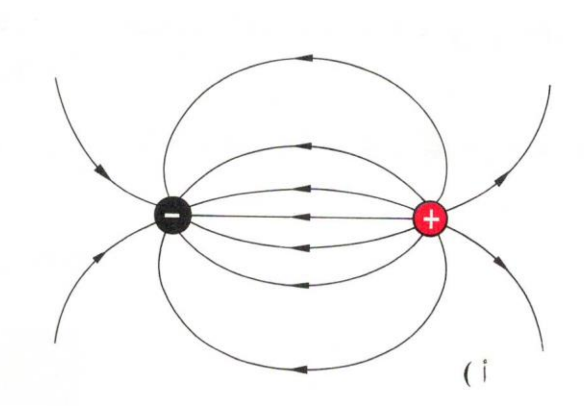
يمكن بالاستعانة بخطوط المجال الـكهربائي الوهمية توضيح سبب تجاذب أو تنافر الأجسام المشحونة كهربائيا حتى دون أن تتلامس. ومثل هذا التأثير قائم أيضا في الفراغ.

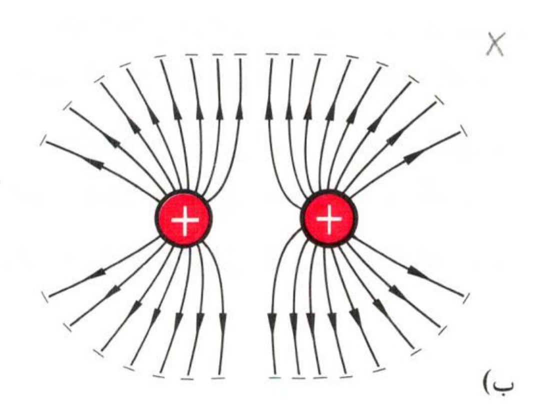
ملاحظة: تسمى المنطقة التي تؤثر فيها القوى الـكهربائية لشحنة كهربائية بالمجال الـكهربائي وهي مملوءة بخطوط المجال الـكهربائي. وتتأثر الشحنات الـكهربائية الأخرى بقوى عند وضعها في هذا المجال.

وقد ثبت أن خطوط المجال تنبعث من شحنة كهربائية موجبة في خطوط قطرية، وفي جميع الاتجاهات، وتنتهي عند شحنة سالبة على أي بعد (شكل ١٨-١). ولا تبدأ خطوط المجال الـكهربائي أو تنتهي من تلقاء نفسها. وشكل (١٨-٢) يوضح المجال الـكهربائي لشحنتين متشابهتين (تأثير تنافري) وشحنتين مختلفتين (تأثير تجاذبي).

ويمكن توضيح مسارات خطوط المجال بشكل جلي باستخدام ندف وبر القطن أو الجريش. وبالاستعانة بمولد فان دِي جراف (Van de Graaff) الذي يقوم بفصل الشحنات تشحن مثلا ندفة من القطن بشحنة موجبة، فتطير في مسار منحن إلى موضع في المولد يكون مشحونا بشحنة سالبة حيث تشحن مرة ثانية بشحنة سالبة وتعود أدراجها إلى الجزء الموجب في المولد، وتتكرر هذه العملية. وتسمى المسارات التي تسلكها ندفة القطن بخطوط المجال الـكهربائي (شكل ١٨-٣).

١٨ – ١ المجال الكهربائي
أ) لشحنة كهربائية موجبة كروية الشكل .
ب) لشحنة كهربائية سالبة كروية الشكل .

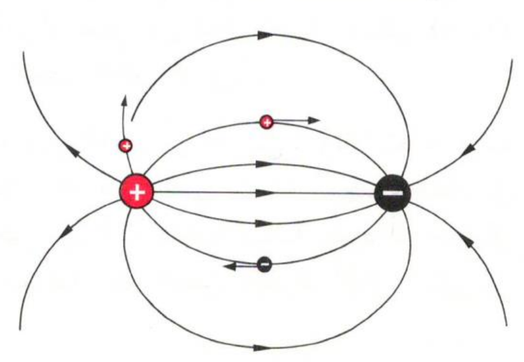




١٨ – ٢ المجالات الكهربائية :
أ) لشحنتين مختلفتين .
ب) لشحنتين متماثلتين .

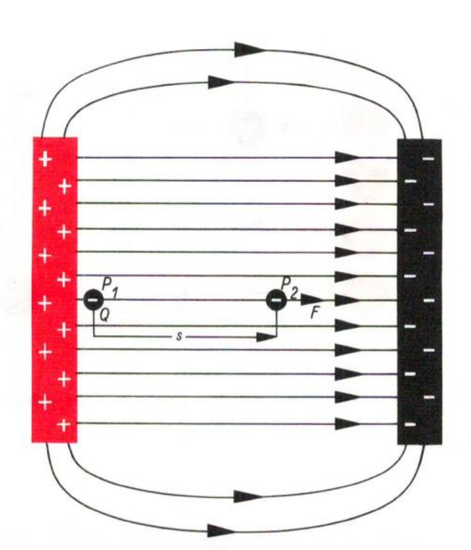
ويمكن على هذا الأساس التعرف على وجود المجالات الكهربائية بواسطة جسم مشحون كهربائيا ، والذي سيتحرك عند وجود مجال كهربائي بقوة معينة في اتجاه خطوط المجال . بينما لو انعدم وجود المجال الكهربائي فإن الأجسام المشحونة لا تتحرك .

١٨ – ٣ تتبع الشحنات الكهربائية خطوط المجال .



ولو وضعنا طبقة رقيقة من زيت الخروع المنثور عليه حبيبات الجريش الدقيقة في قاع مسطّح لإناء زجاجي وعلّقنا في الإناء لوحين معدنيين مشحونين بشحنتين كهربائيتين مختلفتين (باستخدام مولّد فان دِي جراف) فسوف نجد أن حبيبات الجريش تصطف في اتجاه خطوط المجال ، إذ أن الشحنات الموجودة أساسا على حبيبات الجريش تنفصل بتأثير المجال الكهربائي ويصبح لكل حبة قطبان كهربائيان أي يصبح لها طرف موجب وآخر سالب ومن ثم تبدأ أطراف الحبيبات المتباينة الشحنة في التجاذب وتصطف في خط المجال (شكل ١٩–١) .

١٩ - ١ تصطف حبيبات الجريش في سلاسل مستقطبة على طول مسار خطوط المجال.



١٩ - ٢ يحتاج انتقال شحنة كهربائية سالبة في المجال الكهربائي شغلا مقداره W=F·s

١-٣-٢-٢ فصل الشحنات والجهد الكهربائي

إذا ما وضع جسم مشحون بشحنة كهربائية سالبة بين لوحين معدنيين مشحونين بشحنتين مختلفتين، وكان المجال بينهما منتظما، وكانت شحنة الجسم Q ثابتة القيمة فإننا نجد أن الجسم يقطع مسافة s من نقطة بدء P_1 إلى نقطة نهاية P_2 (شكل ١٩-٢). ونجد أن قوى المجال المؤثرة على الجسم قد بذلت شغلا مقداره:

$$W = F \cdot s$$

ويتناسب هذا الشغل مع مقدار الشحنة Q. وعلى ذلك فإن النسبة $\frac{W}{Q}$ لا تتوقف على الشحنة Q وإنما على المسافة s المقطوعة بين P_1 و P_2. ويطلق على هذه النسبة اسم الجهد الكهربائي U_{12} بين النقطتين P_1 و P_2. على هذا الأساس يحدد الجهد الكهربائي بكمية الشغل المبذول في تحريك وحدة الشحنة.

ملاحظة: يعيّن الجهد الكهربائي U بين نقطتين بإيجاد النسبة بين الشغل (W) المبذول أثناء الحركة والشحنة المتحركة Q:

$$U = \frac{W}{Q}$$

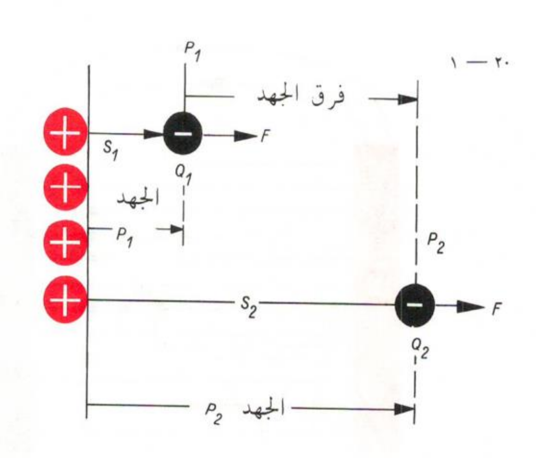
١-٣-٣ فرق الجهد - الجهد الكهربائي

عند تحريك الشحنة السالبة Q_1 في شكل ١٩-٢ من اللوح المعدني الأيسر حتى النقطة P_1 فإن الشغل المبذول في تحريكها يختزن بها في صورة طاقة وضع. ويقال حينئذ أنه يوجد جهد كهربائي بين هاتين الشحنتين المنفصلتين.

$$\text{الجهد الكهربائي} = \frac{W_{P1}\ \text{طاقة الوضع}}{Q_1\ \text{كمية الكهرباء}}$$

وعند تحريك شحنة سالبة أخرى Q_2 حتى نقطة P_2 فإن الشغل المبذول كطاقة وضع سيكون أكثر من نظيره للشحنة Q_1 (شكل ٢٠-١). وفي كثير من الأحيان يجري اختيار الأرض أو أي نقطة إسناد اختيارية أخرى كنقطة صفر للجهد وذلك للمقارنة بين الجهود المختلفة. فمثلا لو وصلت دائرة كهربائية بهيكل أو قاعدة الجهاز (الشاسيه) فإن كل نقطة في الدائرة يكون لها جهدها بالنسبة للقاعدة.

وإذا وجدت نقطتان مختلفتان في الجهد فإنه يوجد بينهما فرق جهد، ويعرف ذلك بالجهد الكهربائي.
الجهد = الطاقة المبذولة لتحريك وحدة الشحنة.



١-٣-٣-١ الوسائل المختلفة لتوليد الجهد الكهربائي

يتولد الجهد الكهربائي بفصل الشحنات، أي بفصل الشحنات الموجبة والسالبة الموجودة في الذرة المتعادلة عن بعضها البعض ولابد لتنفيذ هذا الفصل من بذل شغل.

ويولّد الجهد الكهربائي بعدة طرق هي:

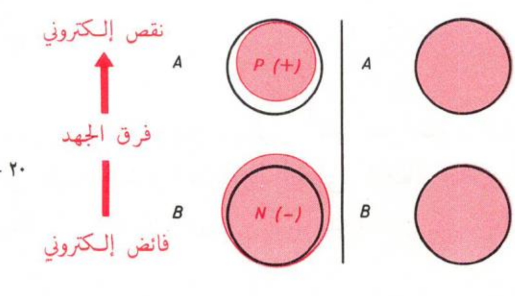
من خلال التأثير الكيميائي (البطارية - المركم)
من خلال التأثير المغنطيسي (المولد الكهربائي)
من خلال التأثير الحراري (المزدوجة الحرارية)
من خلال التأثير الضوئي (الخلية الضوئية)
من خلال الضغط على البلورات (ظاهرة الكهربائية الإجهادية - اللاقط الصوتي)
من خلال فصل الشحنات بالدلك (المطاط الصلد - سيقان الزجاج - مولد فان دِي جراف)

١-٣-٣-٢ تحديد اتجاه الجهد

يوضح الجزء الأيمن شكل ٢٠ – ٢ مقطعا لموصلين من النحاس A و B، يحتوي كل منهما على عدد مساو للآخر من الإلكترونات أي أنهما في حالة اتزان. فإذا سحب عدد من الإلكترونات (بفصل الشحنات) من الموصل A وأُضيف إلى الموصل B نجد أن حالة الإتزان بينهما تختل. ومحاولة الإلكترونات بعد ذلك لاستعادة حالة الإتزان يطلق عليها بصفة عامة الجهد.

وفي الجزء الأيسر من شكل ٢٠-٢ نجد أن بالموصل B فائضا من الإلكترونات أي أنه تغلب عليه الشحنة السالبة ولذلك يرمز له بالإشارة السالبة (–) أو الرمز (N). وفي موضع نقص الإلكترونات نجد أن الشحنات الموجبة هي الغالبة، فالموصل A موجب كهربائيا ويرمز له بالإشارة الموجبة (+) أو الرمز (P).

ولا يمكن أن ينشأ الجهد إلا بين نقطتين أو بين موصلين. ورغم ذلك فإن الحديث يتردد في الحياة العملية عن جهد نقطة أو موصل، إلا أن المقصود بذلك هو الجهد بين هذه النقطة أو الموصل والأرض أو الهيكل.



٢٠ – ٢ تمثيل تخطيطي للمحتوى الإلكتروني في مقطع موصلين. يتعادل المحتوى الإلكتروني على اليمين، أما على اليسار فيختل التوازن بسبب انفصال الشحنات (وجود فرق جهد). ويمكن إعادة التوازن ثانية إذا وجد مسار للإلكترونات (موصل كهربائي) بين الموصلين A و B.

١-٣-٣-٣ وحدة ورمز الجهد الكهربائي

يطلق على معظم وحدات القياس الكهربائية أسماء العلماء الذين استحقوا ذلك لجهودهم في مجال الهندسة الكهربائية.

والوحدة المشتقة للجهد الكهربائي طبقا للنظام الدولي للوحدات (SI)* هي الڤولط (Volt)** ورمزها V.

التعريف العلمي: ڤولط واحد هو الجهد الكهربائي أو فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين على موصل معدني رفيع متجانس التركيب والمعالجة الحرارية عند مرور تيار كهربائي ثابت المقدار مع الزمن شدته أمبير واحد (1 A) تكون القدرة المنقولة عبارة عن واط واحد (1 W).

بادئات المضاعفات والأجزاء العشرية للوحدات (تستعمل لكل الوحدات)

المضاعفات				
بليون ضعف	10^{12}	تيرا	Tera	T
مليار ضعف	10^{9}	جيجا	Giga	G
مليون ضعف	10^{6}	ميجا	Mega	M
ألف ضعف	10^{3}	كيلو	Kilo	k
مائة ضعف	10^{2}	هكتو	Hecto	h
عشرة أضعاف	10^{1}	ديكا	Deca	d

الأجزاء				
عشر	10^{-1}	ديسي	Deci	d
واحد من مائة	10^{-2}	سنتي	Centi	c
واحد من ألف	10^{-3}	ملي	Milli	m
واحد من مليون	10^{-6}	ميكرو	Micro	µ
واحد من مليار	10^{-9}	نانو	Nano	n
واحد من بليون	10^{-12}	بيكو	Pico	p
واحد من بليار	10^{-15}	فمتو	Femto	f
واحد من تريليون	10^{-18}	آتو	Atto	a

أمثلة:

$1 \cdot 10^{6}$ V	1 000 000 V	ميجا ڤولط	1 Megavolt	1 MV
$1 \cdot 10^{3}$ V	1 000 V	كيلو ڤولط	1 Kilovolt	1 kV
$1 \cdot 10^{-3}$ V	$^{1}/_{1000}$ V	ملي ڤولط	1 Millivolt	1 mV
$1 \cdot 10^{-6}$ V	$^{1}/_{1000\,000}$ V	ميكروڤولط	1 Microvolt	1 µV
12 000 V		$12 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10$	$12 \cdot 10^{3}$ V	12 kV
0,09 V		$90 \div (10 \cdot 10 \cdot 10)$	$90 \cdot 10^{-3}$ V	90 mV

يدل الأس الموجب على عدد العشرات التي يجب ضربها في العدد. ويعطي الأس السالب عدد العشرات التي يجب قسمة العدد عليها.

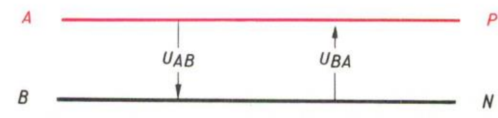
رمز الجهد المستخدم في المعادلات هو الحرف اللاتيني الكبير U (فرق الجهد).

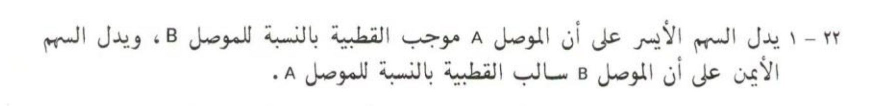
أما القول بأنه يوجد جهد مستمر مقداره 440 V بين الموصلين A و B فيكون غير دقيق في بعض الأحوال، لأن ذلك لا يحدد أيا من الموصلين سالب وأيهما موجب (شكل ٢١ – ١) وللإيضاح يضاف سهم لتحديد الاتجاه. ويرمز للقيم اللحظية للجهد بحروف صغيرة (u).

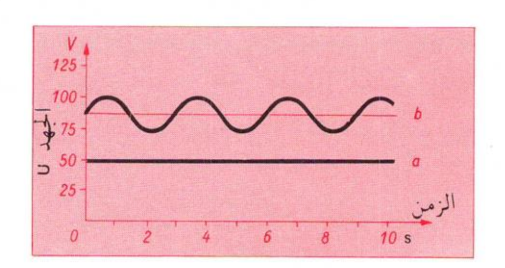
A P
+440 V أو −440 V
B N

٢١ – ١ اتجاه الجهد

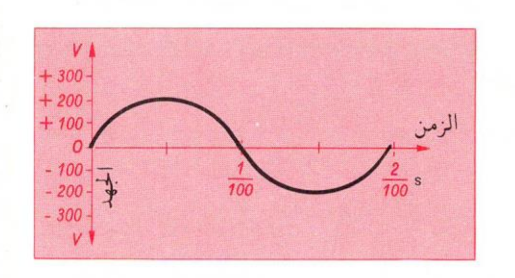
* يستخدم في هذا الكتاب «النظام الدولي للوحدات» واسمه الرسمي المختصر SI (Système International d'Unités).
** ڤولطا Volta، عالم فيزيائي إيطالي، ١٧٤٥ – ١٨٢٧.




٢٢ - ١ يدل السهم الأيسر على أن الموصل A موجب القطبية بالنسبة للموصل B، ويدل السهم الأيمن على أن الموصل B سالب القطبية بالنسبة للموصل A.



٢٢ - ٢ (a) علاقة الجهد المستمر مع الزمن (50 V خلال عشر ثوان) . (b) علاقة الجهد المختلط مع الزمن



٢٢ - ٣ علاقة الجهد المتردد مع الزمن طبقا لدالة الجيب .

وفي حالة احتمال حدوث خطأ يمكن الرمز للجهد بحروف سفلية (دليلية) مزدوجة . ويعني U_{AB} أن النقطة A لها جهد معين بالنسبة للنقطة B . ولو كان هذا الجهد موجبا فإن U_{BA} تدل على جهد مساو في المقدار لكن مضاد في الاتجاه أي سالب (شكل ٢٢-١) .

١-٣-٣-٤ التمييز بين الجهد المستمر والجهد المتردد في الهندسة الكهربائية

من الممكن أن يبقى الجهد القائم بين نقطتين ثابتا في مقداره لزمن طويل أو يتغير مقداره وحتى اتجاهه قد يتغير . وللتوضيح يرسم منحنى بياني لتغير الجهد مع الزمن . ويبين هذا الرسم البياني العلاقة التي تربط بين هذين المتغيرين (الجهد الكهربائي والزمن) .

ويسمى الجهد الذي يبدو في كل لحظة ثابت المقدار بالجهد المستمر ويمثَّل بخط أفقي مستقيم (شكل ٢٢-٢) . أما الجهد الذي يأخذ كل لحظة قيمة مختلفة ولكنه لا يغير اتجاهه ، فيسمى جهدا مختلطا (جهدا مستمرا غير نقي) .

ويسمى الجهد الذي يتغير مقداره واتجاهه على الدوام بالجهد المتردد (شكل ٢٢-٣) . ويعبر في الرسم البياني عن تغيير اتجاه الجهد بعكس إشارة الجهد (+) موجب و (-) سالب .
والجهد المختلط هو جهد مستمر متراكب عليه جهد متردد (شكل ٢٢-٢) .

١-٣-٣-٥ الجهد القياسي

تصنع الأجهزة الكهربائية بصفة عامة لتعمل بجهد كهربائي قيمته الإسمية موحدة قياسيا . وطبقا للمواصفات القياسية DIN 40 001 فإن قيم الجهد المستمر والمتردد المستخدمة بين 1 و 100 ڤولط هي 2 ,4 ,6 ,12 ,24 ,40 (42) ,60 ,80 ڤولط . وتتركز مجالات استخدامها في أجهزة الاتصالات (كالهاتف والبرق) ووحدات الجهد المنخفض والأجهزة الطبِّية الكهربائية وعربات النقل الكهربائية . . . إلخ .

وطبقا للمواصفات القياسية DIN 40 002 تكون قيم جهد التشغيل المفضلة لوحدات التيار المستمر عالي الجهد هي 110 ,220 ,440 ڤولط ، ولوحدات الخطوط الحديدية بالإضافة إلى ذلك 600 ,750 ,1200 ,1500 ,3 000 ڤولط . أما للتيار أحادي الطور بتردد 16 2/3 Hz وللتيار ثلاثي الأطوار بتردد 50 Hz فيجب أساسا استخدام الجهود 220 ,380 ,6 000 ,15 000 ,30 000 ,60 000 ,100 000 ,200 000 ڤولط .

تمرينات :

١ – يوجد جهد مستمر مقداره 60 ڤولط بين الموصل A والموصل B لماذا لا يكفي ذلك للدلالة على الجهد دون لبس ؟

٢ – لماذا لا يمكن صنع الكهرباء ؟

٣ – ما هو المقصود بالمجال الكهربائي ؟

٤ – اذكر كل خواص خطوط المجال الكهربائي .

٥ – ارسم صورة لخطوط مجال شحنة مفردة موجبة كروية الشكل (تكون الشحنة السالبة على مسافة بعيدة جدا) .

٦ – وضّح معنى المصطلح «ذو القطبين الكهربائي» .

٧ – ما هو المقصود بالجهد الكهربائي ؟

١–٤ التيار الكهربائي

تسمى حركة الشحنات الكهربائية المَوَجّهَة بالتيار الكهربائي . وحاملات الشحنات الكهربائية هي :

أ) الإلكترونات في الموصلات الكهربائية .

ب) الأيونات (شكل ١٤–١) في السوائل الموصلة وفي الغازات .

ج) الإلكترونات والفجوات في أشباه الموصلات .

١–٤–١ تدفق الإلكترونات

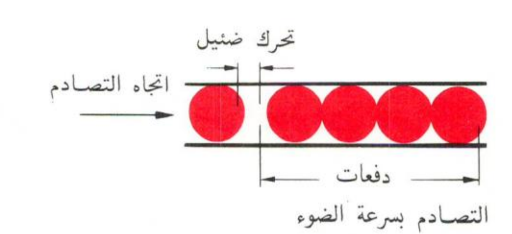
عند توصيل الموصل A بالموصل B (شكل ٢٠–٢) بسلك معدني وكان بينهما فارق في كمية الإلكترونات ، أي أنه يوجد بينهما فرق جهد ، فإن الإلكترونات تتدفق في السلك من المنطقة ذات الفائض في الإلكترونات (–) إلى المنطقة التي بها نقص في الإلكترونات (+) حتى يحدث التساوي بينهما . وحينئذ يصبح فرق الجهد صفرا . ولكي يستمر تدفق الإلكترونات بدون انقطاع داخل السلك لابد من الاستعانة بمولد جهد لاستمرار إيجاد فرق الجهد بين A و B .

وتتحرك الإلكترونات تحت تأثير الجهد حركة مُوجَّهة في الاتجاه الطولي للسلك وذلك بالإضافة إلى حركتها المتعرجة العشوائية التي تنشأ عن الحرارة (شكل ١٦–٢) .

١–٤–٢ سرعة تدفق الإلكترونات

بينما تقوم الإلكترونات بحركتها المتعرجة العشوائية بسرعة عالية تبلغ 100 km/s ، نجد أن سرعة تحركها على طول السلك لا تتجاوز جزءا من المليمتر في الثانية . فتبلغ سرعة الإلكترونات داخل موصل من النحاس على سبيل المثال v=0,3 mm/s . وعلى هذا الأساس يحتاج الإلكترون لزمن يقدر بنحو عشرين عاما ليقطع المسافة بين مدينتين تبعدان عن بعضهما مسافة 190 كيلومترا . وبالرغم من ذلك تضيء المصابيح الكهربائية فور وصل المفتاح حتى ولو كان السلك الموصل بينهما طويلا . ولإيضاح ذلك يجب أن نعلم أنه يوجد في السلك الموصل بين المفتاح وفتيل التوهج بالمصباح عدد لا يحصى من الإلكترونات تبدأ كلها في التحرك فور وصل المفتاح . وتصدم الإلكترونات التي تدخل إلى الموصل تلك التي توجد أمامها مباشرة ، ويسري هذا الصدم بسرعة فائقة حتى يصل إلى الإلكترون الأخير في نهاية الخط رغم أن الإلكترونات التي في أول الخط لم تتحرك إلا قدرا ضئيلا (شكل ٢٤–١) .

٢٤ - ١ سرعة انتشار الإلكترونات. يتحرك الإلكترون الموجود في فتيل التنجستن لمصباح كهربائي بعد ثانية واحدة من تحرك إلكترون آخر موجود على مسافة 300 000 km على أطراف مولد الجهد.

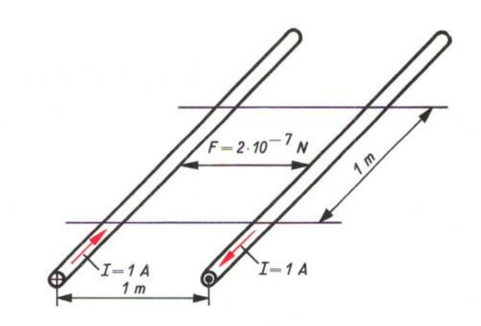


١-٤-٣ وحدة ورمز التيار الكهربائي

تقدر قيمة التيار الكهربائي بعدد الإلكترونات التي تتدفق في الثانية خلال الموصل.

والوحدة القانونية الأساسية للتيار هي الأمبير (Ampere) ورمزها A. وأمبير Ampère هو عالم فيزياء فرنسي، ١٧٥٥-١٨٣٦. وتعني شدة التيار المعادلة لواحد أمبير مرور $6{,}25 \cdot 10^{18}$ إلكترونا في الثانية الواحدة خلال مقطع الموصل.

التعريف العلمي: الوحدة الأساسية*. الأمبير الواحد هو شدة التيار الكهربائي ثابت المقدار مع الزمن، والذي لو مر خلال موصلين مستقيمين متوازيين لا نهائي الطول ذوي مقطع مستدير متناهي الصغر ويقعان على بعد متر واحد من بعضهما في الفراغ، أنتج بينهما قوة إلكترودينامية مقدارها $2 \cdot 10^{-7}$ N لكل متر طولي من الموصل.



بعض مضاعفات وأجزاء الوحدة الأساسية

1 kA	= 1 Kiloampere	1 كيلو أمبير	= 1000 A	$= 1 \cdot 10^{3}$ A
1 mA	= 1 Milliampere	1 ملي أمبير	= $^{1}/_{1000}$ A	$= 1 \cdot 10^{-3}$ A
1 µA	= 1 Microampere	1 ميكرو أمبير	= $^{1}/_{1000\,000}$ A	$= 1 \cdot 10^{-6}$ A

0,6 kA $= 0{,}6 \cdot 10^{3}$ A = 600 A; 100 mA $= 100 \cdot 10^{-3}$ A = 0,1 A

والرمز المستخدم للتيار في المعادلات هو الحرف اللاتيني I وهو أول حرف لكلمة Intensity، أما القيم اللحظية للتيار فيرمز لها بالحرف الصغير i.

١-٤-٤ التفرقة بين التيار المستمر والمتردد

عندما تتحرك الإلكترونات دائما في اتجاه واحد فقط في مسار مواز لمحور الموصل فإن ذلك يعني أن التيار المار تيار مستمر. أما في حالة التيار المتغير فإن الإلكترونات تتحرك مسافة قصيرة للأمام ثم تعود ثانية أي أنها تغير اتجاه حركتها باستمرار. وفي الإرسال الإذاعي تستخدم التيارات المترددة التي تغير اتجاهها عدة ملايين من المرات كل ثانية. ويمكن تمثيل التغير البياني للتيار مع الزمن بنفس طريقة تمثيل التغير البياني للجهد مع الزمن في شكلي (٢٢-٢ و ٢٢-٣). أما التيار ثلاثي الأطوار فما هو إلا ترابط من التيار المتردد.

* يشمل النظام الدولي للوحدات SI-System في الوقت الحاضر ست وحدات أساسية: المتر meter (m)، الكيلوجرام kilogram (kg)، الثانية second (s)، الأمبير Ampère (A)، الكلفن Kelvin (K)، الشمعة candela (cd).

تمرينات :

١ – ما معنى تيار مستمر ؟

٢ – إذا مر تيار مستمر مقداره 3,5 A لمدة 5 s ثم توقف لمدة 8 s ثم عاد ومر بشدة 2,8 A لمدة 9 s ، ارسم شكلا بيانيا يوضح علاقة التيار مع الزمن.

٣ – وضح لماذا يوجد دائما جهد كهربائي، أي اختلاف في الشحنة الكهربائية بأطراف توصيل مقبس (بريزة) الكهرباء الموجود بالمسكن.

٤ – ما هو المقصود بالتيار المختلط ؟

٥ – ما الذي يقوم بمهمة توصيل الشحنات في السوائل الموصلة للكهرباء ؟

١–٥ المقاومة الكهربائية – المبادئ العامة

تبدي المواد مقاومة لحركة الإلكترونات.

١–٥–١ الموصلات واللاموصلات الكهربائية

الموصلات الكهربائية هي مواد لا تتعرض الإلكترونات الحرة فيها سوى لمقاومة صغيرة عندما تتحرك داخلها حركة موجهة. فهي توصل التيار الكهربائي. ومن هذه المواد: الفضة والنحاس والألمنيوم والفولاذ.

وفي حالة خلائط الفلزات (السبائك) تستطيع الإلكترونات التحرك بصعوبة خلالها لأن ذرات الفلزات المختلفة تتداخل مع بعضها البعض.

اللاموصلات الكهربائية هي مواد لا تحتوي إلا على عدد ضئيل من الإلكترونات الحرة، وعددها ضئيل لدرجة أنه يصعب التعرف على حركتها عمليا. ومن المواد اللاموصلة: المطاط وبولي كلوريد الفينيل (PVC) والخزف والورق المشرب... إلخ. ويمكن بواسطة هذه المواد فصل الموصلات الكهربائية عما يحيط بها أو عزلها على حد تعبير الفنيين ويغلف الكثير من الموصلات الكهربائية بهذه المواد العازلة. وتكون مهمة هذه المواد هي العمل على أن يسلك التيار الكهربائي، المسار المحدد له ولا يحيد عنه. وفي حالة الموصلات العارية فإن الهواء يقوم بهذه المهمة.

ليس **بالمواد العازلة المثالية** إلكترونات حرة (مثل الهيليوم أو الهيدروجين عند درجة حرارة الصفر المطلق)، وكذلك الفضاء (الحيز المفرغ من كل الغازات) فهو عازل تام لأنه لا يحتوي على أية إلكترونات. إلا أنه يمكن للإلكترونات اختراقه (مثلما يحدث بالصمامات الإلكترونية والتلفزيونية).

وتقع أشباه الموصلات بين حدود الموصلات واللاموصلات. وأشباه الموصلات هي مواد تتصف بما يلي:

أ) تكون عازلة تماما في حالتها النقية عند درجة حرارة الصفر المطلق (‎−273,15°C = صفر كلفن = 0 K‎).
ب) تكون موصلة رديئة في حالتها النقية عند درجة حرارة 20°C.
ج) تزداد قابليتها للتوصيل بإضافة مواد أخرى إليها.
د) تتحسن قابليتها للتوصيل بارتفاع درجة حرارتها.

وينتمي لأشباه الموصلات: السيلينيوم والجرمانيوم والسليكون، وتستخدم في تقويم التيار المتردد وفي صناعة الترانزستور والثايرستور... إلخ.

١–٥–٢ المقاومة الكهربائية والمادة

كما هو معروف فإن التيار الكهربائي لا يمر إلا عند وجود جهد كهربائي وبمعنى آخر فإن الجهد يضغط على الإلكترونات خلال الموصل المعدني. وحيث أن هذا الضغط أو الجهد ضروري لمرور التيار، فإنه يجب أن يكون هناك عائق بالموصل يلزم التغلب عليه. كما يقول الكهربائيون فإن لكل موصل مقاومة معينة. وعند مقارنة الموصلات المختلفة بتطبيق جهد متساو عليها فإن الموصل ذو المقاومة العالية هو الذي يسمح بمرور أقل قدر من التيار.

ويمكن أن نتصور أن الإلكترونات المندفعة خلال شبيكة بلورات المادة تلاقي مقاومة في تحركها. فهي تتصادم مع أيونات الذرات في شبيكة البلورات. وطبقا لنوع المادة، يكون التصادم قليلا أو كثيرا. أي أن الإلكترونات تحتك بالأيونات ويولد هذا الاحتكاك حرارة في الموصلات الكهربائية من جراء مرور التيار بها كما هو الحال في الاحتكاك الميكانيكي. ولكي يمر تيار معين في موصل كهربائي ذي مقاومة عالية لتدفق الإلكترونات يلزم جهد أعلى مما يلزم لموصل ذي مقاومة صغيرة. وعلى ذلك يمكن استخدام النسبة بين الجهد والتيار كمقياس لقيمة المقاومة.

١-٥-٣ وحدة ورمز المقاومة الكهربائية

الوحدة الدولية المشتقة للمقاومة الكهربائية هي الأوم Ohm* (ورمزها Ω، الحرف اليوناني الكبير أوميجا Omega).

التعريف العلمي: الأوم هو مقدار المقاومة الكهربائية بين نقطتين على موصل معدني خيطي متجانس التركيب والمعالجة الحرارية بالتطبيع، إذا كان بينهما فرق جهد كهربائي مقداره ڤولط واحد يتسبب في تدفق تيار كهربائي ثابت المقدار مع الزمن مقداره أمبير واحد.

أجزاء ومضاعفات وحدة الأوم الدولية:

واحد تيرا أوم	1 TΩ	= 1 Teraohm	= 1000 000 000 000 Ω	$= 1 \cdot 10^{12}\ \Omega$
واحد جيجا أوم	1 GΩ	= 1 Gigaohm	= 1000 000 000 Ω	$= 1 \cdot 10^{9}\ \Omega$
واحد ميچا أوم	1 MΩ	= 1 Megaohm	= 1000 000 Ω	$= 1 \cdot 10^{6}\ \Omega$
واحد كيلو أوم	1 kΩ	= 1 Kiloohm	= 1000 Ω	$= 1 \cdot 10^{3}\ \Omega$
واحد ملي أوم	1 mΩ	= 1 Milliohm	$= {}^{1}/_{1000}\ \Omega$	$= 1 \cdot 10^{-3}\ \Omega$

$$0{,}5\ M\Omega = 0{,}5 \cdot 10^{6}\ \Omega = 500\,000\ \Omega$$

$$18{,}2\ k\Omega = 18{,}2 \cdot 10^{3}\ \Omega = 18\,200\ \Omega$$

ويرمز للمقاومة الكهربائية في المعادلات بالحرف اللاتيني الكبير R وهو أول حرف للكلمة (Resistance) ومعناها مقاومة.

تمرينات:

١ - من أي المواد تصنع الموصلات الكهربائية المعدنية؟

٢ - اذكر بعض المواد العازلة ومجالات استخدامها. تسمى المواد العازلة أحيانا مواد صادّة أو حاجزة. أعط تفسيرا مفيدا لهذا التعبير!

* أوم Ohm، عالم فيزياء ألماني، ١٧٨٩ - ١٨٥٤

٢-١ الدائرة الكهربائية المقفلة

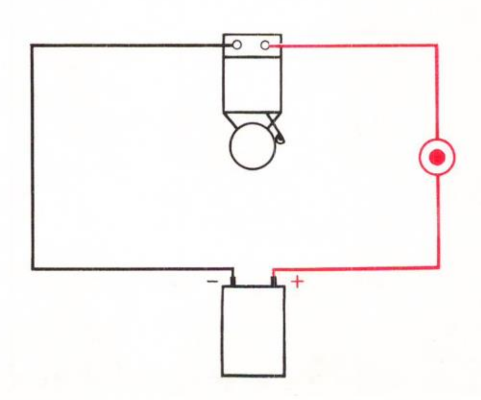
نحتاج في الدائرة الكهربائية المقفلة (شكل ٢٧-١) إلى منبع للجهد الكهربائي، وحمل يمثل مقاومة للتيار الكهربائي، وموصلات كهربائية لتوصيل الحمل بمنبع الجهد الكهربائي. ويمكن وصل أو فصل التيار في الدائرة الكهربائية بواسطة مفتاح. وتسمى أطراف التوصيل مع منبع الجهد بالأقطاب. ونظراً لأنه يوجد فائض في الإلكترونات عند القطب السالب (-) بينما يعاني القطب الموجب (+) نقصا فيها، تتدفق الإلكترونات من القطب السالب عبر الموصل ثم الحمل والمفتاح الموصل ثم موصل العودة إلى القطب الموجب لمنبع الجهد. أما مرور الإلكترونات داخل منبع الجهد فيكون من القطب الموجب إلى السالب. ولما كانت شدة التيار في أي جزء من الدائرة متساوية فإنه يمكن وضع أمبيرمتر في أي موقع اختياري في الدائرة. والتعبير «مستهلك التيار الكهربائي» المستخدم غالبا هو تعبير خاطئ. فجرس التنبيه الموضح بشكل ٢٧-١ يستهلك جزءا من الجهد الكلي.

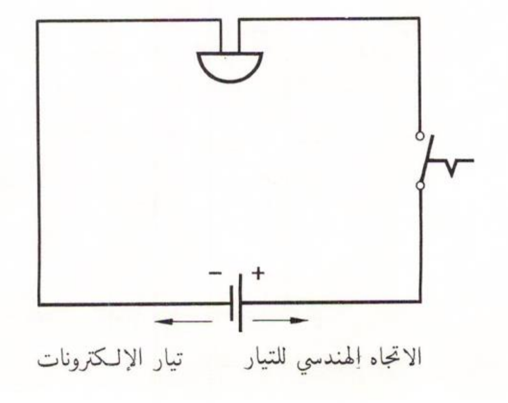
ويطلق على المسار المقفل دائرة كهربائية، حيث أن الدائرة هي أحسن مثال لمسار مغلق من نفسه. وتسمى أجزاء الدائرة الكهربائية بالأفرع.

تيار الإلكترونات والاتجاه الهندسي للتيار: علمنا مما سبق أن تيار الإلكترونات في الجزء الخارجي للدائرة يسري من القطب السالب إلى القطب الموجب.

وكان المفترض قبل أن يعرف المسار الإلكتروني علميا، أن التيار الكهربائي يسري من القطب الموجب إلى السالب واستمر الأخذ بالافتراض القديم في المؤلفات والكتابات العلمية عن الهندسة الكهربائية ويسمى بالاتجاه الهندسي للتيار.

٢٧-١ دائرة كهربائية مقفلة، مخطط التجربة ورسم تخطيطي للدائرة. يمكن تتبع مسار الدائرة الكهربائية المقفلة بسهولة في توصيلة جرس التنبيه بالمنزل.





استخدام الرسم الرمزي في التوصيلات : إنَّ تمثيل الدوائر الكهربائية برسم يشابه الصور الفوتوغرافية فرض مضيع للوقت في تتبعه إلى جانب أنه يكون غالبا تمثيلا غير دقيق . ويستلزم تمثيل الدوائر الكهربائية بالرسم المنظور أو كما هو متبع في شكل (٢٧-١) مهارة بالغة في الرسم . وحيث أن ذلك لا يتوفر لكل الفنيين الكهربائيين ، فقد وضع اتحاد مهندسي الكهرباء الألمان VDE رمزا محددا لكل عنصر من عناصر الدوائر الكهربائية . ويوضح شكل (٢٧-١) إلى اليسار الرسم المبسط الواضح التعبير لدائرة جرس التنبيه باستخدام الرموز الموضوعة بالمواصفات القياسية DIN .

تمرينات :

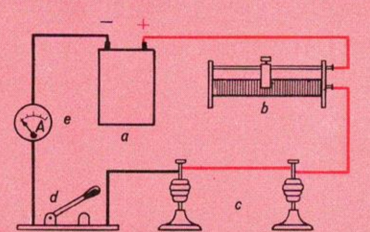
١ - ما فائدة المفتاح في الدائرة الكهربائية ؟
٢ - اشرح وارسم تخطيطيا الدائرة الكهربائية لمصباح الجيب (كشّاف اليد) .
٣ - اذكر بعض الأحمال التي يمكن وضعها في دائرة كهربائية .

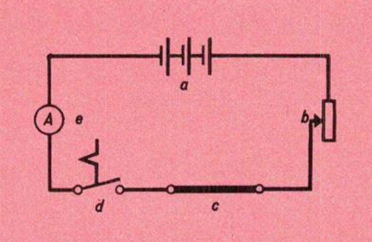
٢-٢ التأثيرات الثلاثة الأساسية للتيار الكهربائي

لا يمكن استشعار التيار الكهربائي أو بمعنى آخر تدفق الإلكترونات في دائرة كهربائية مقفلة مباشرة بالأعضاء الحسّية للإنسان إلا أنه يمكن ملاحظة آثاره جيدا من خلال الآتي شرحه في التجارب من (١) إلى (٣) .

٢-٢-١ التأثير الحراري

مخطّط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة





التجربة ١ يولّد التيار الكهربائي حرارة في الموصل المار به

التجهيزات
a = منبع جهد (مركم النيكل والحديد)
b = مقاومة متغيرة لضبط التيار
c = حمل (سلك مقاومة رفيع)
d = مفتاح
e = أمبيرمتر

خطوات العمل : ١ - إخفض قيمة المقاومة بواسطة المقاومة المتغيرة على مراحل مع مراقبة الحمل ومؤشرّ الأمبيرمتر .
٢ - استبدل أسلاك التوصيل المتصلة بمنبع الجهد ثم أعد التجربة .

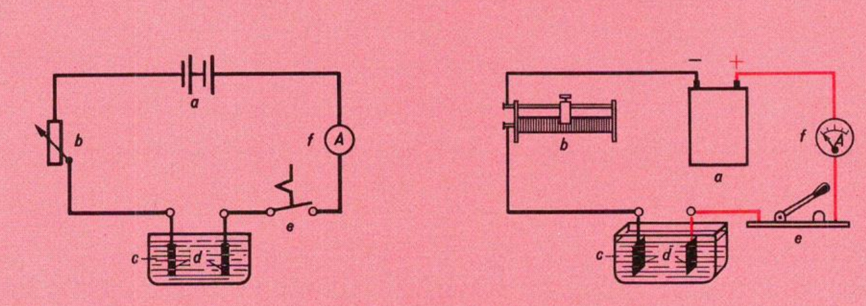
المشاهدة : كلما قلّت قيمة المقاومة المتغيرة زادت شدة التيار المار وزادت سخونة السلك (c) حتى يتوهج وأخيرا يصل إلى درجة حرارة انصهاره ، وبعكس اتجاه التيار يلاحظ حدوث نفس التأثير .

النتيجة : كلما زادت شدة التيار المار ازداد التأثير الحراري . ولا يعتمد تولد الحرارة على اتجاه مرور التيار .

يتولد الضوء من التيار الكهربائي : يوجد في مصابيح الإضاءة الكهربائية سلك رفيع وإذا ازدادت شدة التيار المار به فإنه يتوهج حتى يصبح توهجه أبيض اللون ، وبذا يرسل موجات ضوئية . والضوء هو نوع من الإشعاع الكهرمغنطيسي والذبذبات الكهرمغنطيسية بموجة طولها من 400 nm إلى 750 nm ($1\ nm = 10^{-9}\ m$) تستشعرها العين كضوء .
ويوجد في مصابيح الإضاءة سلك التفافي مفرد أو مزدوج من التنجستن الذي يسخن إلى درجة حرارة بين 2 500°C و 3 000°C .

٢-٢-٢ التأثير الكيميائي

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة



التجربة ٢ يُرسِّب التيار الكهربائي النحاس من محلول كبريتات النحاس

التجهيزات : a = منبع جهد
b = مقاومة متغيرة
c = حوض زجاج به محلول كبريتات نحاس
d = ألواح جرافيت (فحم) (مدخل التيار)
e = مفتاح
f = أمبيرمتر

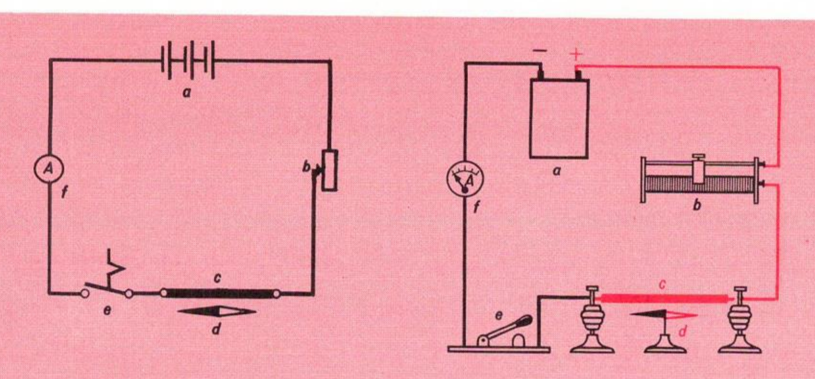
خطوات العمل : ١ - اضبط المقاومة المتغيرة ليمر تيار ضئيل بالدائرة . راقب مؤشّر الأمبيرمتر ولوح الجرافيت الموصل بالقطب السالب لمنبع الجهد .
٢ - أبدل وضع لوحي الجرافيت وأجر التجربة بتيار أكبر .
٣ - أبدل وصل أسلاك التوصيل بمنبع الجهد ثم كرر الخطوة (١) .

المشاهدة : تتراكم طبقة مترسبة من النحاس على لوح الجرافيت المتصل بالقطب السالب وتزداد كميتها بزيادة شدة التيار المار . وبتبديل القطبية تتلاشى هذه الطبقة المترسبة وتظهر على اللوح الآخر الذي أصبح القطب السالب .

النتيجة : تزداد كمية النحاس المترسبة بزيادة شدة التيار وزمن مروره . ويعتمد التأثير الكيميائي على اتجاه مرور التيار .

٢-٢-٣ التأثير المغنطيسي

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة



التجربة ٣ يؤدي مرور التيار الكهربائي إلى انحراف الإبرة المغنطيسية عن اتجاهها على امتداد خط الشمال والجنوب.

التجهيزات:
a = منبع جهد
b = مقاومة متغيرة
c = سلك نحاسي ثخين
d = إبرة مغنطيسية
e = مفتاح
f = أمبيرمتر

خطوات العمل: ١- صل مفتاح التوصيل لمدة قصيرة وراقب الإبرة المغنطيسية.
٢- إعكس توصيل أقطاب المنبع ثم كرر الخطوة (١).
٣- تجرى التجربة بقيم مختلفة للتيار المار.

المشاهدة: تنحرف الإبرة المغنطيسية من اتجاهها نحو الشمال والجنوب عندما يمر التيار. وتنحرف الإبرة بمقدار أكبر كلما زادت شدة التيار. وعند عكس توصيل القطبين تنحرف الإبرة في الاتجاه المضاد.

النتيجة: للموصل الحامل للتيار تأثيرات مغنطيسية، وهي تتوقف على شدة واتجاه التيار.

تمرينات

١- في أي التطبيقات الفنية يستفاد بالتأثير الحراري للتيار الكهربائي؟
٢- في أي الأعمال يستفاد بالتأثير الكيميائي للتيار الكهربائي؟
٣- في أي المكنات والأجهزة يستفاد بالتأثير المغنطيسي للتيار الكهربائي؟
٤- ما هي تأثيرات التيار الكهربائي التي تستغل في المفاتيح ذاتية التشغيل؟

٢-٣ قانون أوم

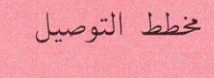
يعطي قانون أوم العلاقة بين كل من التيار والجهد والمقاومة في الدائرة الكهربائية.

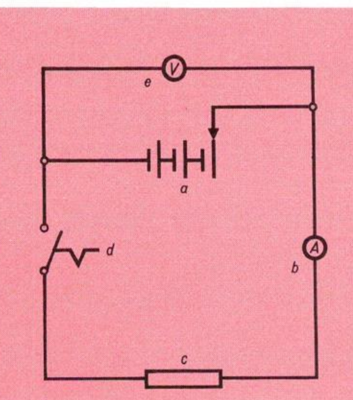
٢-٣-١ العلاقة بين الجهد والتيار الكهربائي عند ثبات المقاومة

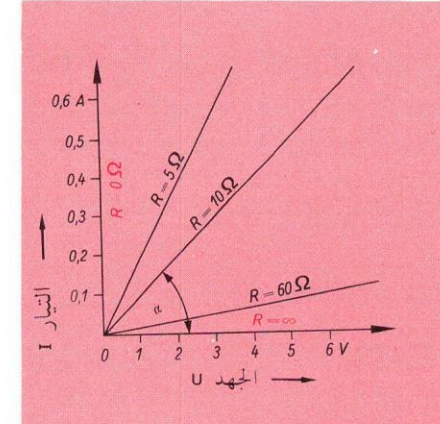
المقاومات الأومية هي المقاومات التي تكون نسبة $\frac{\text{الجهد}}{\text{التيار}}$ فيها ثابتة لجميع القيم دائما، وهي تتبع قانون أوم. ويكون منحنى العلاقة بين التيار والجهد خطا مستقيما مارا بنقطة الأصل (الصفر)، ولذلك تسمى هذه المقاومات أيضا

بالمقاومات الخطية . وتوضّح التجربة (٤) مثالا لمنحنى تغير التيار مع الجهد لمقاومة أومية ، ومنها يتضح أنه كلما قلت قيمة المقاومة زاد ميل الخط . ومن المعتاد تدوين القيم المتغيرة المطلقة (مثل U في التجربة ٤) على المحور الأفقي والقيم المتغيرة التابعة على المحور الرأسي من المحورين المتعامدين .

٢-٣-٢ منحنى العلاقة بين التيار والجهد لمقاومة أومية







التجربة ٤ كلما زاد الجهد زاد التيار

التجهيزات : a = منبع جهد (مركم بثلاث خلايا)
b = أمبيرمتر
c = مقاومة عيارية R = 12 Ω
d = مفتاح
e = ڤولطمتر

خطوات العمل : ١ - دوّن قراءات كل من الڤولطمتر والأمبيرمتر .
٢ - كرّر القياسات بعد مضاعفة الجهد وزيادته إلى ثلاثة أضعاف .
٣ - ارسم منحنى العلاقة بين التيار والجهد .

القراءات :

I (A)	U (V)	R (Ω)
0,2	2	10
0,4	4	10
0,6	6	10

تؤدي مضاعفة الجهد إلى مضاعفة التيار . كما تؤدي زيادة الجهد لثلاثة أمثاله إلى زيادة التيار لثلاثة أمثاله في المقاومة ذات القيمة الثابتة .

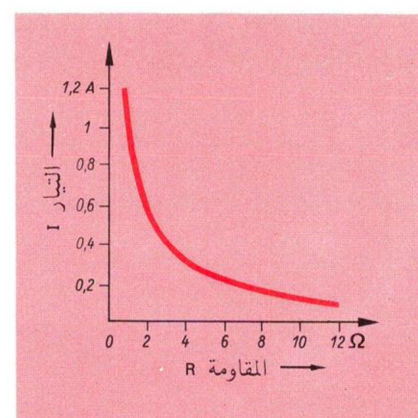
منحنى العلاقة بين التيار والجهد لمقاومة أومية (انظر كذلك الشكل العلوي)

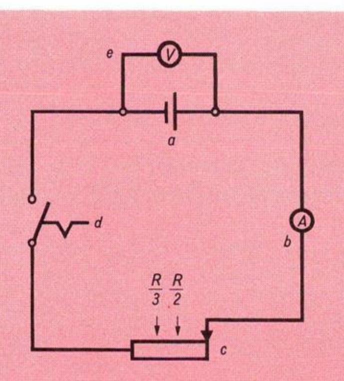
النتيجة : يزداد كل من التيار والجهد بنفس النسبة عند ثبات قيمة المقاومة ، ويُعبَّر عن هذه القاعدة بطريقة مختصرة رياضيا كما يلي : $I \sim U$ (تقرأ : I تتناسب طرديا مع U) .
ويعين ميل خط المقاومة بالنسبة I/U :

$$\tan \alpha = \frac{I}{U} = \frac{1}{R} = G$$

أي أن المواصلة (انظر صفحة ٣٦) تحدد ميل خط المقاومة .

٢-٣-٣ علاقة التيار بالمقاومة مع ثبات الجهد





الرسم التخطيطي للدائرة

التجربة ٥ كلما صغرت المقاومة زاد التيار

التجهيزات : a = منبع جهد
b = أمبيرمتر
c = مقاومة متغيرة
d = مفتاح
e = ڤولطمتر

خطوات العمل : مع ثبات الجهد ، تُضبط المقاومة المتغيرة على القيم التالية الواحدة تلو الأخرى : R = 12 Ω, R/2 = 6 Ω, R/3 = 4 Ω . ثم تسجَّل قراءات كل من الأمبيرمتر والڤولطمتر .

القراءات :

U (V)	R (Ω)	I (A)
1,2	12	0,1
1,2	6	0,2
1,2	4	0,3

عند ثبات الجهد ، يسري ضعف التيار عند خفض المقاومة إلى النصف وثلاثة أمثاله عند خفض المقاومة إلى الثلث .

النتيجة : يزداد التيار في المقاومة الأومية بنفس النسبة التي تنخفض بها المقاومة ، وتكتب هذه القاعدة رياضيا كما يلي : $I \sim \frac{1}{R}$ (تقرأ I تتناسب عكسيا مع R) .

النتيجة الشاملة للتجربتين (٤) و (٥) : يزداد التيار في كل دائرة كهربائية محمَّلة بمقاومات أومية بنفس نسبة زيادة الجهد وانخفاض المقاومة (قانون أوم) .

ملاحظة : يُفترض أن قيمة المقاومة ثابتة دائمًا .

التيار = الجهد / المقاومة $\quad I = \frac{U}{R}$

ويشتق منها أن : $R = \frac{U}{I}$ $\quad U = R \cdot I$

٢-٣-٤ الحساب بقانون أوم

مثال : احسب شدة التيار المار في مقاومة تسخين لمكواة كهربائية إذا بلغت قيمة مقاومتها 100 Ω وكانت موصَّلة على جهد قدره 220 V .

الحل : يدفع 1 V تيارا قدره 1 A في مقاومة 1 Ω
تدفع 220 V تيارا قدره 220 A في مقاومة 1 Ω
تدفع 220 V تيارا قدره $\frac{220}{100} = 2{,}2$ A في مقاومة 100 Ω

أو : المعطيات : $R = 100\,\Omega,\ U = 220\,V$
المطلوب : $I = ?\,A$
الحـل : $I = \frac{U}{R} = \frac{220\,V}{100\,\Omega} = 2{,}2\,A$

حساب المقاومة

مثال : احسب مقاومة ملف مغنطيسي للتيار المستمر عند توصيله بجهد كهربائي 110 V علما بأن شدة التيار المار بالملف 2 A ؟

الحل : يدفع 1 V تيارا قدره 1 A في مقاومة 1 Ω
تدفع 110 V تيارا قدره 1 A في مقاومة 110 Ω
تدفع 110 V تيارا قدره 2 A في مقاومة $55\,\Omega = \frac{110}{2}$

أو : المعطيات : $U = 110\,V,\ I = 2\,A$
المطلوب : $R = ?\,\Omega$
الحـل : $R = \frac{U}{I} = \frac{110\,V}{2\,A} = 55\,\Omega$

حساب الجهد

مثال : ما هو الجهد الكهربائي الذي يجب توصيله بمقاومة قدرها 25 Ω حتى يمر بها تيار 4 A ؟

الحل : يمر تيار مقداره 1 A في مقاومة 1 Ω بجهد كهربائي 1 V
يمر تيار 4 A في مقاومة 1 Ω بجهد كهربائي 4 V
يمر تيار 4 A في مقاومة 25 Ω بجهد كهربائي $4 \cdot 25 = 100\,V$

أو : المعطيات : $R = 25\,\Omega,\ I = 4\,A$
المطلوب : $U = ?\,V$
الحـل : $U = R \cdot I = 25\,\Omega \cdot 4\,A = 100\,V$

تمرينات :

١ - ما معنى أن $U \sim I$ ؟
٢ - متى يستخدم التعبير مقاومة أومية ؟
٣ - ما هي المقاومات المستخدمة عمليا والتى يمكن أن يطلق عليها بدقة كافية مقاومات أومية ؟
٤ - وضِّح : لم لا يجوز توصيل مصباح إضاءة على جهد أعلى من الجهد الإسمي المدوّن عليه ؟
٥ - كيف يتغير التيار في مقاومة تتضاءل قيمتها تدريجيا حتى تصل في النهاية إلى الصفر مع ثبات الجهد ؟
٦ - ارسم - بمساعدة القيم المعطاة في التجربة (٤) - منحنى العلاقة بين المقاومة والتيار (تدوّن R على المحور الرأسي) .
٧ - ما قيمة المقاومة الواجب تحديدها في التجربة (٥) ليمر تيار قدره 0,4 A مع ثبات الجهد ؟

٢ - ٤ المقاومة الكهربائية

لكلمة مقاومة في الهندسة الكهربائية معنيان : الأول ويقصد به هندسيا الجهاز أو المكونات ، أي «المقاومة» التي تركب في الدائرة الكهربائية لتحديد مرور التيار (أي أنها عنصر من عناصر الدائرة) ، أما الثاني فيقصد به خاصية المقاومة في الموصل ، أي إعاقة مرور التيار . ولما كانت قيمة هذه الخاصية تقدر بالأوم ، فإنه يستخدم لها التعبير «قيمة المقاومة» .

ويجدر بنا التعرف على العوامل التي تؤثر على قيمة مقاومة الموصلات .

٢-٤-١ علاقة قيمة المقاومة بطول الموصل

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة

التجربة ٦ كلما زاد طول الموصل زادت قيمة المقاومة

التجهيزات : a = منبع جهد (خلية نيكل وحديد واحدة 1,2 V)
b = مقاومة متغيرة
c = سلك مقاومة
d = مشبك تمساحي
e = أمبيرمتر

خطوات العمل : يقاس التيار المار في الأجزاء التالية من طول الموصل على الترتيب : $^1/_4$ ، $^1/_2$ ، $^3/_4$ ، $^1/_1$ وذلك بتغيير مواقع مأخذ التيار باستخدام المشبك التمساحي ، ثم تحدد قيمة المقاومة باستخدام قانون أوم .

القراءات :

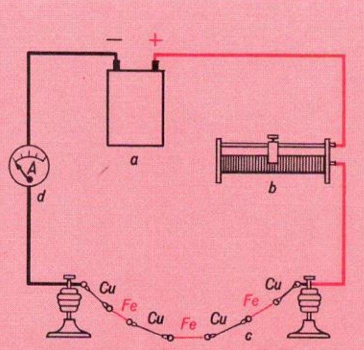
R (Ω)	I (A)	U (V)	l (m)
3	0,4	1,2	0,25
6	0,2	1,2	0,5
9	0,133	1,2	0,75
12	0,1	1,2	1

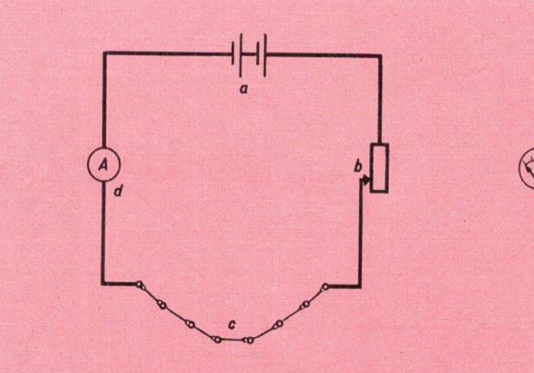
مثال : $R=\frac{U}{I}=\frac{1,2\,V}{0,4\,A}=3\,\Omega$ وهكذا
تتضاعف قيمة المقاومة عند مضاعفة طول السلك . وعند زيادة طول السلك إلى ثلاثة أمثاله تزداد أيضا قيمة المقاومة إلى ثلاثة أمثالها . . . وهكذا .

النتيجة : تزداد قيمة المقاومة لموصل بنفس نسبة الزيادة في طوله مع ثبات مقطعه ، ويعبر عن ذلك رياضيا كالآتي : $R \sim l$.

٢-٤-٢ علاقة قيمة المقاومة بنوع مادة الموصل

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة





التجربة ٧ تتوقف قيمة المقاومة على نوع مادة الموصل

التجهيزات : a = منبع جهد
b = مقاومة متغيرة
c = سلسلة من حلقات موصلة تتكون من مواد مختلفة (على سبيل المثال نحاس وفولاذ) متساوية في الطول ومساحة المقطع .
d = أمبيرمتر .

خطوات العمل : يُزاد التيار بتغيير المقاومة المتغيرة حتى تتوهج حلقات الفولاذ .

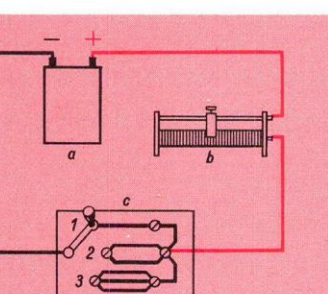
المشاهدة : تتوهج حلقات الفولاذ بينما لا تتوهج حلقات النحاس .

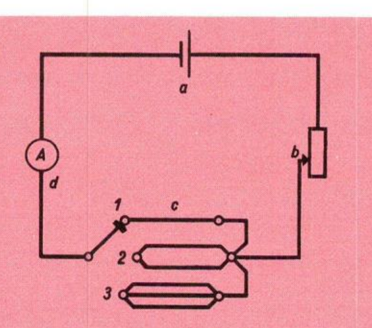
النتيجة : تتوقف قيمة المقاومة على نوع مادة الموصل .

قيمة المقاومة ومادة الموصل : قيمة المقاومة الكهربائية للفضة صغيرة جدا ، إذ إنها أجود موصل للتيار الكهربائي . وعلى النقيض من ذلك فإن الكوارتز هو المادة ذات أكبر مقاومة للتيار الكهربائي ، أي أنه أردأ موصل . وتتوقف قيمة المقاومة الكهربائية لجميع المواد على نسبة الإلكترونات الحرة بها . ويتوقف عدد الإلكترونات الحرة في مادة ما على نوع الترابط الكيميائي لها وكذلك على درجة الحرارة . وقد أثبتت التجارب أن الفلزّات جيدة التوصيل الكهربائي تكون أيضا موصلة جيدة للحرارة .

٢-٤-٣ علاقة قيمة المقاومة بمساحة مقطع الموصل

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة





التجربة ٨ كلما زيدت مساحة مقطع الموصل انخفضت قيمة المقاومة .

التجهيزات : a = منبع جهد
b = مقاومة توال
c = مقاومة متغيرة
d = أمبيرمتر

عند مفتاح الاختبار في الوضع 1 : يوجد في الدائرة الكهربائية سلك كونستانتان طوله 1 m وقطره 0,2 mm (مساحة المقطع A=0,0314 mm²) . عند مفتاح الاختبار في الوضع 2 : يوجد سلكان كونستانتان بجوار بعضهما البعض (يكافئان سلكا واحدا بضعف مساحة المقطع 2 A=0,0628 mm²) . عند مفتاح الاختبار في الوضع 3 : توجد ثلاثة أسلاك كونستانتان بجوار بعضها البعض (تكافئ سلكا واحدا بثلاثة أمثال مساحة المقطع 3 A=0,0942 mm²) .

خطوات العمل : يقاس التيار I ومنه تعين – باستخدام قانون أوم – قيمة المقاومة R مع ثبات الجهد .

القراءات والمشاهدة :

A	U	I	R
(mm²)	(V)	(A)	(Ω)
0,0314	1,2	0,1	12
0,0628	1,2	0,2	6
0,0942	1,2	0,3	4

مثال : $R=\frac{1,2\ V}{0,1\ A}=12\ \Omega$ وهكذا
تنخفض قيمة المقاومة للنصف بمضاعفة مساحة المقطع . وبزيادة مساحة المقطع إلى ثلاثة أمثالها تنخفض قيمة المقاومة إلى الثلث . . . وهكذا .

النتيجة : تزداد قيمة مقاومة الموصِّل بنفس النسبة التي تنقص بها مساحة مقطعه .
رياضيا : $R \sim \frac{1}{A}$.

النتائج المجملة للتجارب ٦ و ٧ و ٨: تعتمد قيمة مقاومة الموصل - في درجة الحرارة العادية على طوله ومساحة مقطعه ونوع مادته .

٢-٤-٤ المقاومة النوعية - المواصلة - الموصِّلية (قابلية التوصيل) .

تعلمنا من التجربة (٧) أن كل مادة تقاوم مرور التيار الكهربائي مقاومة تختلف في المقدار عن غيرها . ولإمكان مقارنة الموصلية (قابلية التوصيل) لمواد الموصلات المختلفة تصنع أسلاك من مواد مختلفة بأطوال 1 m وبمساحة مقطع $1\ mm^2$ وتعين قيمة مقاومتها .

ملاحظة : تسمى قيمة مقاومة سلك طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ عند 20°C بالمقاومة النوعية أو بمقاومة الوحدة .

٣٦ - ١ المقاومة النوعية والموصلية الكهربائية لمواد مختلفة عند 20°C .

المادة (عند 20°C)	المقاومة النوعية ϱ $\frac{\Omega\ mm^2}{m}$	الموصلية $\varkappa$ $\frac{m}{\Omega\ mm^2}$
نحاس	0,0178	56
ذهب	0,021	47,5
ألومنيوم	0,029	35
زنك	0,06	16,7
نحاس أصفر	0,075	13
نيكل	0,10	10
بلاتين	0,111	9
فولاذ	0,13	7,7
برونز Bz III	0,17	5,9
نيكلين (نيكوليت)	0,3	3,3
كونستانتان	0,5	2
كروم نيكل	1	1
التربة الأرضية برطوبة عادية	$10^8 \triangleq 100\ \Omega\ m$	10^{-8}

$A = 1\ m^2$

$l = 1\ m$

ملاحظة : تعطى المقاومة النوعية للتربة الأرضية ولأشباه الموصلات والمواد العازلة والسوائل لمكعب طول ضلعه 1 m .
المقاومة النوعية للتربة الأرضية : $\varrho = 10^8\ \Omega\ mm^2/m \triangleq 100\ \Omega\ m$.

ويرمز للمقاومة النوعية في المعادلات بالرمز ϱ (الحرف اليوناني الصغير «رو» Rho) .

مثال : عندما يقال إن المقاومة النوعية للنحاس هي : $\varrho = 0{,}0178\ \Omega \frac{mm^2}{m}$
فإن ذلك يعني أن مقاومة موصل من النحاس طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ هي $R = 0{,}0178\ \Omega = {}^1/_{56}\ \Omega$.

يسمى مقلوب قيمة المقاومة بالمواصلة الكهربائية وتقاس المواصلة الكهربائية بوحدة سيمنز Siemens (S) ويرمز لها في المعادلات بالرمز G (فرنر فون سيمنز ، Werner von Siemens ، مهندس ألماني ، ١٨١٦-١٨٩٢) .

$$G = \frac{1}{R}$$

مثال : مقاومة مقدارها $R = 1\ \Omega$. المواصلة الكهربائية المناظرة لها هي : $G = \frac{1}{R} = \frac{1}{1\ \Omega} = 1\ S$.

يطلق على مقلوب المقاومة النوعية اسم الموصِّلية الكهربائية . وتسمى قابلية التوصيل الكهربائية لسلك طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ بالموصلية ، ورمزها في المعادلات $\varkappa$ (تنطق كابا) .

مثال : موصلية النحاس $\varkappa = 56 \frac{m}{\Omega\, mm^2}$ تعني أن مقاومة سلك من النحاس طوله 56 m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ هي 1Ω (قيم $\varkappa$ موجودة بالجدول رقم ٣٦–١) .

٢–٤–٥ مواد المقاومات

تصنع مقاومات القياس ومقاومات بدء الحركة وغيرها من المقاومات من مواد رديئة التوصيل الكهربائي أي مواد تبدي مقاومة كبيرة لمرور التيار . ويبين الجدول رقم (٣٧–١) بعض السبائك المعدنية الرديئة التوصيل طبقا للمواصفات القياسية DIN 17471 أما الجدول رقم (٣٧–٢) فيبين مواد موصلات التسخين ذات المقدرة العالية على تحمُل الحرارة (المواصفات القياسية DIN 14470) .

وتُمكِّن المقاومات النوعية العالية من صنع مقاومات صغيرة الحجم .

	أقصى درجة حرارة تحميل ممكنة °C	$\frac{\varrho_{20}\ \Omega\, mm^2}{m}$	النسبة المئوية لعناصر التركيب				الاسم التجاري	الرمز السابق	رمز السبيكة طبقا للمواصفات DIN 1741
			Ni	Mn	Cu	Al			
مواد	400	0,13	–	2	97,2	0,8	ISO 13	RW 13	Cu Mn 2
المقاومات	60	0,43	2	12	86	–	مانجانين	RW 43	Cu Mn 12 Ni
الكهربائية	600	0,5	44	1	55	–	كونستانتان	RW 50	Cu Ni 44
جدول رقم	300	0,5	20	10	70	–	ازابلين	RW 50	Cu Ni 20 Mn 10
٣٧–١	500	0,43	30	3	67	–	نيكلين	RW 43	Cu Ni 30 Mn

	درجة حرارة الانصهار °C	$\frac{\varrho_{20}\ \Omega\, mm^2}{m}$	النسب المئوية لعناصر التركيب				الرمز السابق	رمز السبيكة طبقا للمواصفات DIN 17470
			Ni	Fe	Cr	Al		
أسلاك التسخين	1400	1	30	50	20	–	RW 100	Ni Cr 30 20
جدول رقم	1400	1,1	78	2	20	–	RW 110	Ni Cr 80 20
٣٧–٢	1500	1,4	–	75	20	5	RW 140	Cr Al 20 5

تمرينات

١ – اشرح أهمية المواد ذات الموصلية الصغيرة للهندسة الكهربائية .
٢ – لماذا لا يكفي ذكر قيمة المقاومة عند طلب مقاومة كهربائية ؟
٣ – ما هي المواد الموصلة التي تعرفها ؟ رتبها حسب قابليتها للتوصيل .
٤ – لماذا تفضل مادة المقاومة Cr Al 205 لصناعة مقاومات التسخين ؟
٥ – خذ قيمة المقاومة النوعية للتربة الأرضية من الجدول بصفحة (٣٦) واذكر لماذا يكون توصيل الكهرباء فيها جيدا نسبيا ؟

٢–٥ حساب قيمة مقاومة موصل

يمكن حساب قيمة مقاومة موصل ما باستخدام المقاومة النوعية ϱ. ولما كانت قيمتها العددية كسرية فيكون الحساب أيسر باستخدام الموصلية $\varkappa$.

٢-٥-١ حساب مقدار مقاومة موصل

مقدار مقاومة موصل طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ تبلغ $\frac{1}{\varkappa}\Omega$.
مقدار مقاومة موصل طوله l m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ تبلغ $\frac{l}{\varkappa}\Omega$.
مقدار مقاومة موصل طوله l m ومساحة مقطعه $A\ mm^2$ تبلغ $\frac{l}{\varkappa \cdot A}$.

مقدار المقاومة = $\frac{\text{الطول}}{\text{الموصلية} \times \text{مساحة المقطع}}$ $$R = \frac{l}{\varkappa \cdot A}$$

مثال : ما هو مقدار مقاومة موصل من النحاس طوله 400 m ومساحة مقطعه $2{,}5\ mm^2$ ؟
مقدار مقاومة موصل من النحاس طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ هي $\frac{1}{56}\ \Omega$.
مقدار مقاومة موصل من النحاس طوله 400 m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ هي $\frac{400}{56}\Omega$.
مقدار مقاومة موصل من النحاس طوله 400 m ومساحة مقطعه $2{,}5\ mm^2$ هي $\frac{400}{56 \cdot 2{,}5}\Omega = 2{,}8\ \Omega$.

أو

المعطيات : $l = 400\ m,\ A = 2{,}5\ mm^2,\ \varkappa = 56 \frac{m}{\Omega\ mm^2}$.

المطلوب : إيجاد قيمة المقاومة R بالأوم .

الحل : $R = \frac{l}{\varkappa \cdot A} = \frac{400\ m \cdot \Omega\ mm^2}{56\ m \cdot 2{,}5\ mm^2} = 2{,}8\ \Omega$.

٢-٥-٢ حساب مساحة مقطع موصل

مساحة مقطع موصل قيمة مقاومته $\frac{1}{\varkappa}\ \Omega$ وطوله 1 m هي $1\ mm^2$.
مساحة مقطع موصل قيمة مقاومته $1\ \Omega$ وطوله 1 m هي $\frac{1}{\varkappa}\ mm^2$.
مساحة مقطع موصل قيمة مقاومته $1\ \Omega$ وطوله l m هي $\frac{l}{\varkappa}\ mm^2$.
مساحة مقطع موصل قيمة مقاومته $R\ \Omega$ وطوله l m هي $\frac{l}{\varkappa \cdot R}\ mm^2$.

مساحة المقطع = $\frac{\text{الطول}}{\text{الموصلية} \times \text{قيمة المقاومة}}$ $$A = \frac{l}{\varkappa \cdot R}$$

مثال : ما هي مساحة مقطع سلك من الكونستانتان طوله 40 m وقيمة مقاومته $80\ \Omega$ ؟
مساحة مقطع سلك من الكونستنتان تبلغ مقاومته $^1/_2\ \Omega$ وطوله 1 m هي $1\ mm^2$.
مساحة مقطع سلك من الكونستانتان تبلغ مقاومته $1\ \Omega$ وطوله 1 m هي $^1/_2\ mm^2$.
مساحة مقطع سلك من الكونستانتان تبلغ مقاومته $1\ \Omega$ وطوله 40 m هي $\frac{40}{2}\ mm^2$.
مساحة مقطع سلك من الكونستانتان تبلغ مقاومته $80\ \Omega$ وطوله 40 m هي $\frac{40}{2 \cdot 80} = \frac{1}{4}\ mm^2$.

أو

المعطيات : $\varkappa = 2 \frac{m}{\Omega mm^2};\ l = 40\ m;\ R = 80\ \Omega$.

المطلوب : إيجاد مساحة المقطع بوحدة mm^2 .

الحل : $A = \frac{l}{\varkappa \cdot R} = \frac{40\ m \cdot \Omega mm^2}{2\ m \cdot 80\ \Omega} = 0{,}25\ mm^2$.

٢-٥-٣ حساب طول الموصل

طول موصل مقدار مقاومته $\frac{1}{\varkappa}\,\Omega$ ومساحة مقطعه $1mm^2$ هو $1m$.

طول موصل مقدار مقاومته $1\,\Omega$ ومساحة مقطعه $1mm^2$ هو $\varkappa\,m$.

طول موصل مقدار مقاومته $1\,\Omega$ ومساحة مقطعه $A\,mm^2$ هو $\varkappa\cdot A\,m$.

طول موصل مقدار مقاومته $R\,\Omega$ ومساحة مقطعه $A\,mm^2$ هو $\varkappa\cdot A\cdot R\,m$.

طول الموصل = الموصلية × مساحة المقطع × قيمة المقاومة

$$l=\varkappa\cdot A\cdot R$$

مثال : احسب الطول اللازم بالمتر من سلك من النيكل والكروم لصنع مقاومة تسخين قيمتها $25\,\Omega$ إذا كانت مساحة مقطعه $2\,mm^2$.

طول سلك من النيكل والكروم مقاومته $1\,\Omega$ ومساحة مقطعه $1\,mm^2$ هو $1\,m$.

طول سلك من النيكل والكروم مقاومته $1\,\Omega$ ومساحة مقطعه $2\,mm^2$ هو $2\cdot 1\,m$.

طول سلك من النيكل والكروم مقاومته $25\,\Omega$ ومساحة مقطعه $2\,mm^2$ هو $2\cdot 1\cdot 25=50\,m$.

أو

المعطيات : $\varkappa=1\,\frac{m}{\Omega\,mm^2},\ A=2\,mm^2,\ R=25\,\Omega$.

المطلوب : ايجاد طول السلك (l) بوحدة (m) .

الحل : $l=\varkappa\cdot A\cdot R=1\,\frac{m}{\Omega\,mm^2}\cdot 2\,mm^2\cdot 25\,\Omega=50\,m$.

تمرينات

١ – ما هو التغيُّر الذي يطرأ على مقدار مقاومة سلك من النحاس عند مضاعفة كل من مساحة مقطعه وطوله؟

٢ – حدد نوع معدن سلك طوله $5\,m$ ومساحة مقطعه $0{,}5\,mm^2$ وقيمة مقاومته $10\,\Omega$.

٣ – ما هو مقدار مقاومة أنبوبة من النحاس طولها $8\,m$ وقطرها الخارجي $25{,}5\,mm$ وسُمك (ثخانة) جدارها $2{,}5\,mm$ ؟

٤ – قارن بين كل من مساحة مقطع وقطر ووزن موصل من النحاس طوله $100\,m$ ومساحة مقطعه $25\,mm^2$ وموصل آخر من الألومنيوم له نفس الطول ونفس المقاومة . رتب القيم المحسوبة في جدول .

٥ – كم تبلغ مقاومة موصل من النحاس مساحة مقطعه $6\,mm^2$ وطوله $48\,m$ يستخدم في توصيل محرك ؟

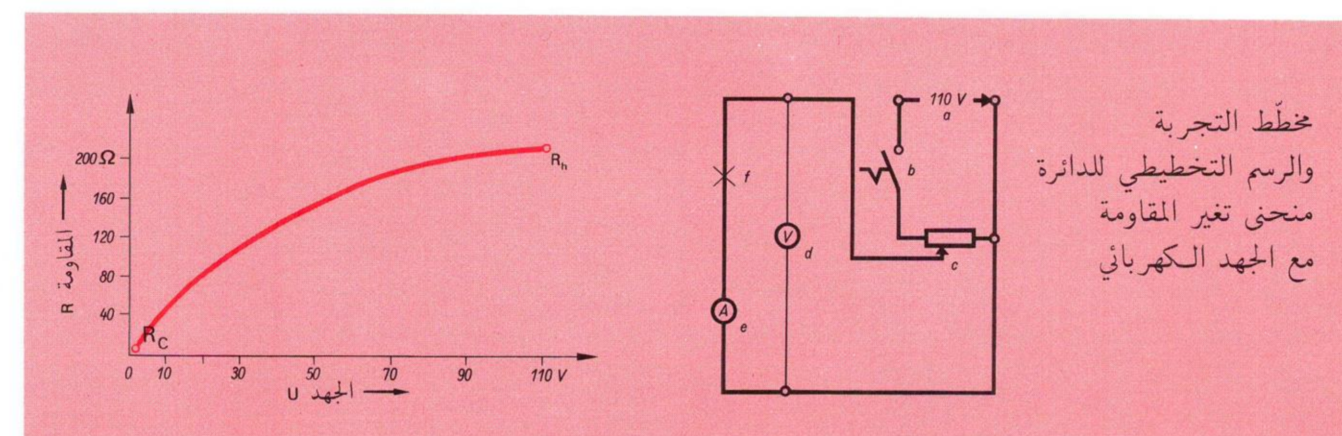
٢-٦ تغير مقاومة الموصلات الكهربائية مع تغير درجة الحرارة

٢-٦-١ العلاقة بين قيمة مقاومة الموصل ودرجة حرارته

افترضنا في الدراسة حتى الآن أن قيمة مقاومة موصل ما تكون ثابتة المقدار ، إلا أنها في الحقيقة تتغير بتغيير درجة الحرارة . والقيم المذكورة في صفحة ٣٦ لكل من ϱ و $\varkappa$ لا تعتبر صحيحة إلا عند درجة حرارة $20°C$ ولذلك يجب مراعاة هذه الحقيقة في القياسات الدقيقة . وفي صناعة الآلات الكهربائية يؤخذ تغير المقاومة في الاعتبار إذ تنخفض شدة التيار المار بتسخين الملفات . كذلك يستفاد بتغير المقاومة الكهربائية في حساب ارتفاع درجة الحرارة في الحالات التي لا يمكن فيها القياس بالثرمومترات . وترتفع درجة حرارة ملفّات الآلات الكهربائية أثناء التشغيل ارتفاعا كبيرا في بعض

الأحيان ويعوق العزل اللازم لأسلاك هذه الملفات خروج الحرارة إلى الهواء الخارجي بسرعة مما يجعل قياس درجة الحرارة بالثرمومترات غير مناسب، حيث لا يمكن وضعها إلا على الأسطح الخارجية للملفات. وقد أمكن حديثا وضع موصل بارد أو موصل ساخن في داخل الملفات (راجع صفحة ٤١)، مما يمكّن من مراقبة درجة الحرارة داخل الملفات بصفة مستمرة.

٢-٦-١-١ المقاومة ودرجة الحرارة



مخطّط التجربة والرسم التخطيطي للدائرة منحنى تغير المقاومة مع الجهد الكهربائي

التجربة ٩ تزداد قيمة مقاومة سلك من التنجستن بالتسخين

التجهيزات: a = منبع جهد 110 V
b = مفتاح
c = مجزئ جهد
d = ڤولطمتر
e = أمبيرمتر
f = مصباح متوهِّج 110 V/60 W

خطوات العمل: ١ - يزاد الجهد على خطوات ويقاس كل من I و U وتحسب R لكل زوج من القيم.
٢ - يحسب تيار الوصل (I_c) أي عندما يكون المصباح باردا.

القراءات:

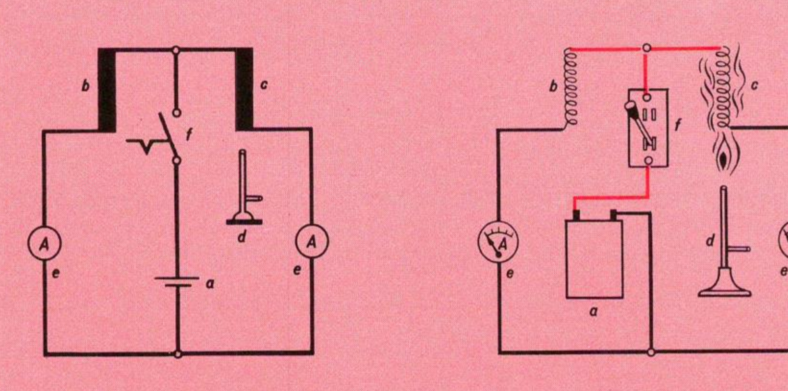
U (V)	I (A)	مقدار زيادة U	مقدار زيادة I	R (Ω)
2	0,080	–	–	25
5	0,120	ضعفًا 2,5	ضعفًا 1,5	42
10	0,165	أضعاف 5	ضعفًا 2,06	61
20	0,215	أضعاف 10	ضعفًا 2,7	93
40	0,310	ضعفًا 20	ضعفًا 3,88	129
80	0,455	ضعفًا 40	ضعفًا 5,7	177
100	0,520	ضعفًا 50	ضعفًا 6,50	193
110	0,550	ضعفًا 55	ضعفًا 6,87	200

في الخطوة ١: يزداد التيار بمعدل أقل من الجهد ويدل ذلك على ازدياد قيمة المقاومة. فكلما زاد التيار ازداد توهج المصباح وارتفعت درجة حرارة فتيل المصباح.
وفي الخطوة ٢: $I_c = \frac{U}{R_c} = \frac{110\ V}{25\ \Omega} = 4,4\ A$ وهو التيار عندما يكون المصباح باردا.

النتيجة: تزداد قيمة مقاومة فتيل التنجستن التوهجي بارتفاع درجة الحرارة أما في المصباح ذي الفتائل المعدنية فيبلغ التيار عند بدء التوصيل من ثمانية إلى عشرة أمثال تيار التشغيل.

ملاحظة : عند توصيل التيار في دائرة بها عدد من المصابيح المتوهجة ذات القدرات العالية فقد يتسبب تيار الوصل في انصهار مصهر الأمان في الدائرة حتى ولو بلغ زمن تأثيره جزءا من الثانية . والمعروف أن المصهرات تصمم لتتحمل تيار التشغيل .

٢-٦-٢ تغير المقاومة بتسخين المعادن



مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة

التجربة ١٠ يختلف تأثير الحرارة على قيمة مقاومة المعادن المختلفة

التجهيزات :
a = منبع جهد
b = سلك كونستانتان ملفوف قطره 0,3 mm وطوله 0,1 m
c = سلك فولاذ ملفوف قطره 0,3 mm وطوله 0,5 m
d = موقد بنزن أو لهب لحام
e = أمبيرمتر
f = مفتاح

خطوات العمل : سخن سلك الفولاذ ثم سلك الكونستانتان مع مراقبة الأمبيرمتر .

المشاهدة : تنخفض شدة التيار عند تسخين سلك الفولاذ . وعند تسخين سلك الكونستانتان يكون تغير التيار غير محسوس . (طبقا لقانون أوم ، يمكن أن يتغير التيار فقط عند تغير قيمة المقاومة مع ثبات الجهد) .

النتيجة : تزداد قيمة مقاومة سلك الفولاذ بزيادة التسخين بينما تكاد تبقى قيمة مقاومة سلك الكونستانتان دون تغير (ثابتة) .

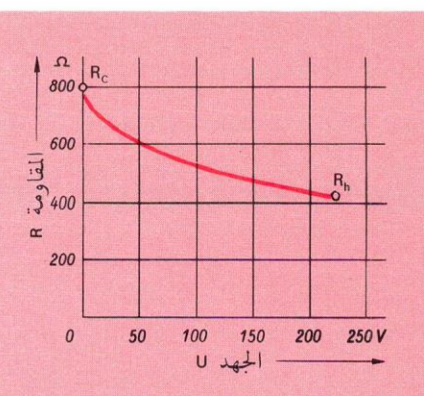
تسلك معظم الموصلات المعدنية مسلك الفولاذ ، أما سبائك النحاس مع النيكل وبصفة خاصة الكونستانتان والمنجانين فتكاد لا تتأثر بتغير درجة الحرارة (تصنع منها المقاومات عالية الدقة) .

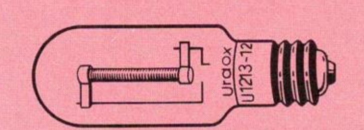
تستفيد ثرمومترات المقاومة من خاصية زيادة مقاومة معظم المعادن بارتفاع درجة الحرارة .
يتصل ثرمومتر المقاومة ومعه منبع جهد بجهاز قياس (أومّتر) معاير تدريجه لقراءة درجات الحرارة . ويستخدم هذا الجهاز في مراقبة درجة حرارة ملفات الآلات الكهربائية على سبيل المثال وذلك بوضع المقاومة في الملفات مباشرة للإنذار عند بدء تزايد درجة الحرارة .

لقياس درجات الحرارة تستخدم أيضا أشباه الموصلات التي تتميز بانخفاض كبير في مقدار مقاومتها عند ارتفاع درجة الحرارة (مقاومات NTC) قارن ذلك بصفحة ٤٥ .

٢-٦-٣ تغير المقاومة عند تسخين الكربون ومحاليل الأملاح المعدنية

مقاومة أوردكس
منحنى العلاقة بين المقاومة والجهد
لمصباح بفتيل كربون





التجربة ١١ تنخفض قيمة مقاومة محاليل الأملاح المعدنية والكربون وأشباه الموصلات بارتفاع درجة الحرارة (انظر صفحة ٤٥) .

التجهيزات : منبع جهد قدره 220 V (جهد الشبكة)
مصباح بفتيل كربون 220 V
والبقية كما في التجربة ٩

خطوات العمل : ١ - يزاد الجهد على خطوات وتقرأ قيم كل من I و U .
٢ - تحسب قيمة المقاومة (R) .
٣ - يرسم منحنى العلاقة بين المقاومة والجهد .

القراءات :

U (V)	10	30	50	80	100	130	150	220
I (A)	0,014	0,046	0,08	0,14	0,182	0,255	0,305	0,510
R (Ω)	720	660	625	570	550	510	490	430

يزداد التيار بمعدل أعلى من الجهد ، أي أن المقاومة تقل .

النتيجة : تنخفض قيمة مقاومة فتيل كربون بارتفاع درجة الحرارة . وتبلغ قيمة المقاومة الساخنة نصف قيمتها الباردة ، وتسلك كل من محاليل الأملاح المعدنية وأشباه الموصلات سلوكا مشابها .

٢-٦ - ٤ حساب قيمة المقاومة مع مراعاة تأثير الحرارة .

يعتمد تغير قيمة مقاومة موصل ما بالتسخين على نوع مادّته .

- تؤخذ درجة الحرارة الدينامية الحرارية أو درجة حرارة كلفن (المعروفة حتى الآن بدرجة الحرارة المطلقة) ككمية أساسية في النظام الدولي للوحدات (SI) ووحدتها الأساسيّة كلفن Kelvin (K) (لوحدة درجة الحرارة المئويّة (°C) أنظر صفحة ٧٧) .
- ويدل معامل المقاومة الحراري α على مقدار التغير في مقاومة موصل مقاومته 1 Ω عند ارتفاع درجة حرارته بمقدار 1°C (شكل ٤٣ - ١) .

ويتوقف المعامل α ذاته على درجة الحرارة ، لذلك يجب حساب المعامل عند ما تتغير درجة الحرارة عن 20°C تغيرا كبيرا .

وهي للنحاس : $\alpha = \frac{1}{235°C + t_{بارد}}$ وللألومنيوم : $\alpha = \frac{1}{245°C + t_{بارد}}$

للنحاس	$\alpha = +0{,}0038\ \frac{\Omega}{\Omega\cdot{}^\circ C}$
للألومنيوم	$\alpha = +0{,}004\ \frac{\Omega}{\Omega\cdot{}^\circ C}$
للفولاذ	$\alpha = +0{,}0045\ \frac{\Omega}{\Omega\cdot{}^\circ C}$
للكونستانتان	$\alpha = -0{,}000005\ \frac{\Omega}{\Omega\cdot{}^\circ C}$
للجرافيت	$\alpha = -0{,}0004\ \frac{\Omega}{\Omega\cdot{}^\circ C}$
للتنجستن	$\alpha = +0{,}0041\ \frac{\Omega}{\Omega\cdot{}^\circ C}$

٤٣ – ١ معاملات المقاومة الحرارية عند درجة حرارة 20°C .
+ : تزداد المقاومة بارتفاع درجة الحرارة
– : تنخفض المقاومة بارتفاع درجة الحرارة

ملاحظة : تتبع المقاومات *PTC و *NTC علاقة أخرى ولا تصلح لها المعادلات الواردة في صفحة ٤٣ .

ونظرا لأنه يمكن اعتبار أن تغير المقاومة يتناسب طرديا – في حدود معينة – مع إرتفاع درجة الحرارة ومع مقدار قيمة المقاومة ، نجد بصفة تقريبية أن :

التغير في مقاومة موصل ما عندما تكون :
مقاومته 1 Ω والارتفاع في درجة حرارته 1°C ، يبلغ α أوم ،
مقاومته 1 Ω والارتفاع في درجة حرارته $\Delta\vartheta$ هو $\alpha\cdot\Delta\vartheta$ أوم ،
مقاومته R Ω والارتفاع في درجة حرارته $\Delta\vartheta$ هو $\alpha\cdot\Delta\vartheta\cdot R$ أوم .

التغير في المقاومة : $\Delta R=\alpha\cdot\Delta\vartheta\cdot R_c$.

R_c = قيمة المقاومة في الحالة الباردة أي عند درجة حرارة 20°C . R_h = قيمة المقاومة في الحالة الساخنة . ΔR = التغير في المقاومة . $\Delta\vartheta$ (الحرفان الأبجديان اليونانيان دلتا وثيتا ، تنطق دلتا ثيتا) = التغير في درجة الحرارة .

وعند إضافة مقدار التغير في المقاومة ΔR الى قيمة المقاومة في الحالة الباردة R_c نحصل على قيمة المقاومة في الحالة الساخنة R_h .

$R_h = R_c + \Delta R$	$R_h = R_c + \alpha\cdot\Delta\vartheta R_c$	$R_h = R_c(1+\alpha\cdot\Delta\vartheta)$
$R_c = \frac{R_h}{1+\alpha\cdot\Delta\vartheta}$	$\Delta\vartheta = \frac{R_h - R_c}{\alpha\cdot R_c}$	$\alpha = \frac{R_h - R_c}{\Delta\vartheta\cdot R_c}$

مثال : ما مقدار الزيادة في مقاومة سلك من النحاس عند تسخينه إلى درجة حرارة 100°C إذا بلغت مقاومته 2,5 Ω عند درجة حرارة 20°C ؟

الحل : تكون الزيادة في مقاومة سلك من النحاس :
مقاومته 1 Ω والارتفاع في درجة الحرارة 1°C هي : 0,0038 Ω .
مقاومته 1 Ω والارتفاع في درجة الحرارة 80°C هي : 0,0038·80 Ω.
مقاومته 2,5 Ω والارتفاع في درجة الحرارة 80°C هي : 0,0038·80·2,5=0,76 Ω .

٢ – ٦ – ٥ العلاقة بين مقاومة النحاس وارتفاع درجة الحرارة 1°C (الازدياد بمقدار 0,4% تقريبا)

إن تغيّر مقاومة النحاس ذو أهمية كبيرة في الاستخدام العملي ، ويمكن بدقة كافية حساب الارتفاع في درجة الحرارة من الزيادة في مقاومة موصل من النحاس باستخدام الصيغة التقريبية : $\alpha=0{,}004\frac{\Omega}{\Omega^\circ C}$. ويمكن الحصول على النسبة المئوية لزيادة المقاومة بسهولة بضرب قيمة α في 100 .

*معامل حراري موجب PTC = Positive Temperature Coefficient
معامل حراري سالب NTC = Negative Temperature Coefficient

مثال : ما مقدار الارتفاع في درجة حرارة ملف من النحاس متصل بجهد 220 V اذا مر به تيار قدره 5 A عند توصيل الدائرة وبعد عدة ساعات انخفض التيار الى 4 A من جرّاء تولد الحرارة؟

المعطيات : $I_c = 5\,A,\ I_h = 4\,A,\ U = 220\,V$.

المطلوب : الفرق في درجة الحرارة $°C ? = \Delta\vartheta$.

الحل : ١ – حساب قيمة المقاومة الباردة والساخنة طبقا لقانون أوم :

$$R_c = \frac{U}{I_c} = \frac{220\,V}{5\,A} = 44\,\Omega \text{ ، } R_h = \frac{U}{I_h} = \frac{220\,V}{4\,A} = 55\,\Omega .$$

٢ – تعيين الزيادة في قيمة مقاومة الملف بالأوم :

$$\Delta R = R_h - R_c = 55\,\Omega - 44\,\Omega = 11\,\Omega .$$

٣ – حساب النسبة المئوية للزيادة في المقاومة :

ازدادت المقاومة $44\,\Omega$ بمقدار $11\,\Omega$.

تزداد المقاومة $100\,\Omega$ بمقدار : $\frac{11\,\Omega \cdot 100\,\Omega}{44\,\Omega} = 25\,\Omega$.

وبذلك تبلغ النسبة المئويّة للزيادة 25% .

٤ – حساب الزيادة المناظرة في درجة الحرارة :

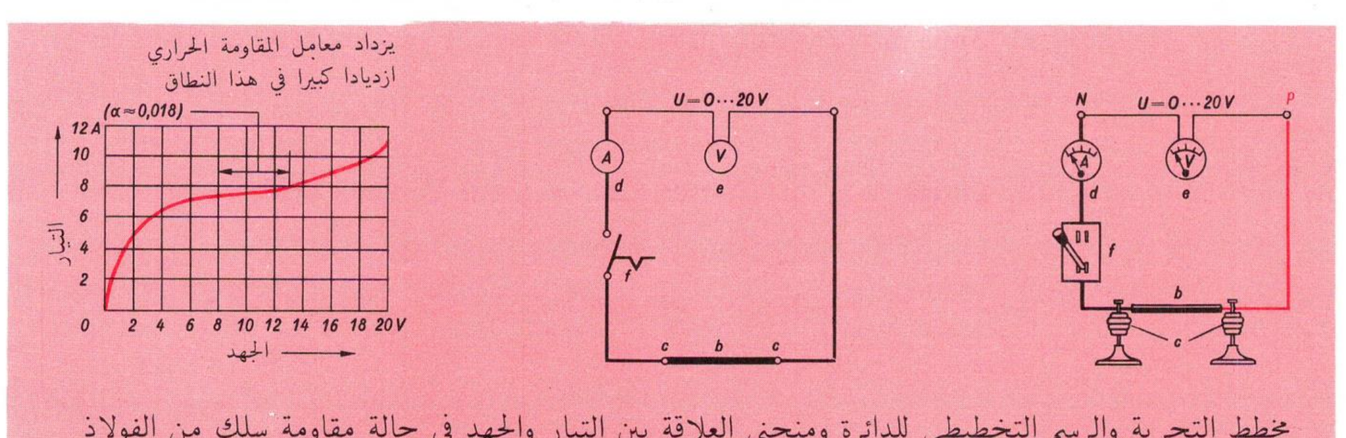
0,4% تقابل زيادة في درجة حرارة النحاس قدرها 1°C .

25% تقابل زيادة في درجة حرارة النحاس قدرها $\frac{1°C \cdot 25\%}{0{,}4\%} = 62{,}5°C$.

ويلاحظ أنّ مقاومة الفلزات ذات درجة النقاوة التي تصل الى 99% على الأقل تتناسب طرديا مع درجة الحرارة في نطاق درجات الحرارة الواقع ما بين −250°C و +250°C فقط . وتنخفض المقاومة بشكل فجائي وتصل قيمتها الى الصفر تقريبا عند الاقتراب من درجة حرارة الصفر المطلق (−273,15°C) ، وتسمى هذه الحالة بالموصليّة الخارقة ولذلك فان المعادلات الموجودة في صفحة ٤٣ لا تنطبق على درجات الحرارة الشديدة الانخفاض أو الارتفاع .

٢ – ٦ – ٦ مقاومة الحديد مع الهيدروجين

في التجربة ١٢ ، نجد أن مقدار مقاومة سلك الفولاذ تزداد باطراد مع زيادة درجة الحرارة حتى درجة التوهج القاتم فقط . أما بين درجة حرارة التوهج القاتم والتوهج الأحمر الساطع (من 400°C الى 800°C) ، فيبقى التيار ثابتا تقريبا مع تغيير الجهد . ولذلك تستخدم مقاومة سلك الفولاذ في هذا النطاق من درجات الحرارة للمحافظة على ثبات شدة التيار مع تقلب جهد الشبكة . ولتجنب أكسدة السلك فإنه يوضع في أنبوبة زجاجية مغلقة مملوءة بغاز الهيدروجين (موصل جيد للحرارة) للحصول على ما يعرف بمقاومة الحديد مع الهيدروجين .



مخطط التجربة والرسم التخطيطي للدائرة ومنحنى العلاقة بين التيار والجهد في حالة مقاومة سلك من الفولاذ

التجربة ١٢ يبين سلك الفولاذ صفات خاصة .

التجهيزات : a = منبع جهد متغير من 0 إلى 20 V
b = سلك فولاذ قطره 0,6 mm وطوله 50 cm
c = ماسكان للأطراف
d = أمبيرمتر
e = ڤولطمتر
f = مفتاح

خطوات العمل : ١ – يزاد الجهد تدريجياً وتقرأ قيم كل من I ، U .
٢ – يرسم منحنى العلاقة بين التيار والجهد .

القراءات :

U (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (A)	3,5	5	5,9	6,4	7,1	7,2	7,4	7,6	7,7	7,8
U (V)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I (A)	7,9	7,95	8	8,2	8,6	8,8	9,1	9,5	9,9	11

النتيجة : تزداد قيمة المقاومة – في أول الأمر – بالتناسب مع الارتفاع في درجة الحرارة ، ثم يبقى التيار ثابتا تقريبا بازدياد الجهد في النطاق بين التوهج الأحمر القاتم والفاتح .

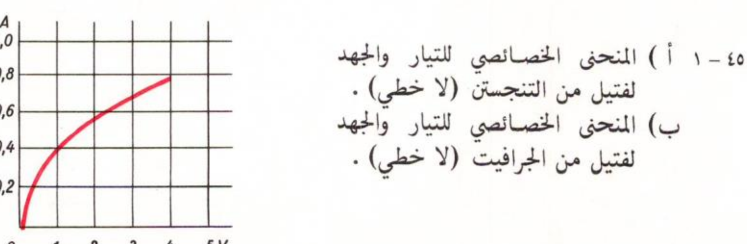
٢–٦–٧ المقاومات اللاخطيّة

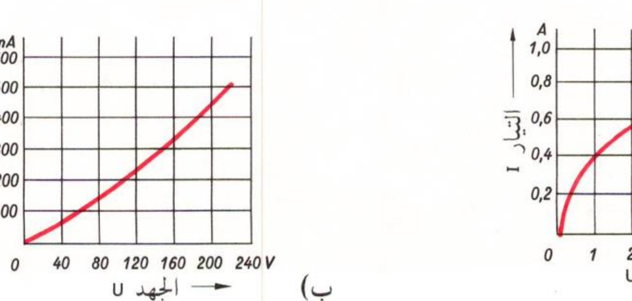
عند رسم منحنى العلاقة بين التيار والجهد في التجارب ٩ و ١١ أو بملاحظة المنحنيات في التجارب ٥و٩و١٢ ، نجد أنها خطوط منحنية على نقيض ما جاء بالتجربة ٤ صفحة ٣١ . وسواء في الفتائل المعدنية أو الفتائل الكربونية فإن التيار لا يتناسب طرديا مع الجهد وتسمى المقاومات التي تتغير قيمتها بتغير التيار أو الجهد بالمقاومات اللاأومية أو المقاومات اللاخطية .

٢–٦–٨ الموصل الساخن (مقاومة NTC) كمقاومة لا خطية

تسمى المواد التي توصل التيار الكهربائي وهي ساخنة أفضل منها وهي باردة بالموصلات الساخنة أو ثرمسترات ويكون معامل مقاومتها الحراري α سالبا بمعنى أن تنخفض قيمة مقاومتها بارتفاع درجة الحرارة . يكون عدد الإلكترونات الحرة في درجة حرارة الغرفة قليلا في هذه المواد . وفي البدء يمنع الاضطراب في التركيب الذري الحادث بسبب الحرارة تدفق تيار الإلكترونات تماما كما يحدث بالفلزات ، إلا أنه بازدياد عنف الاضطراب (بارتفاع درجة الحرارة) يتحرر عدد متزايد من الإلكترونات . وتسمى الموصلات الساخنة التي لها معامل مقاومة حراري سالب كبير بالمقاومات سالبة المعامل الحراري (NTC = Negative Temperature Coefficient) .

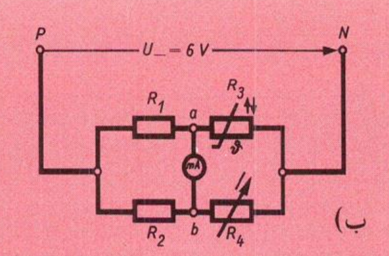
وتصنع مقاومات NTC في الغالب من خليط من أكاسيد المعادن الثقيلة المختلفة مثلا : Zn_2TiO_4 ، وذلك بضغطها وتلبيدها على هيئة رقائق أو قضبان أو كُريّات حسب الغرض من استخدامها .

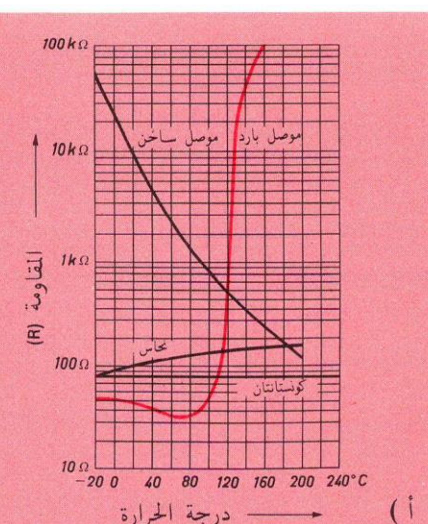




٤٥ – ١ أ) المنحنى الخصائصي للتيار والجهد لفتيل من التنجستن (لا خطي) .
ب) المنحنى الخصائصي للتيار والجهد لفتيل من الجرافيت (لا خطي) .

أ) علاقة المقاومة بدرجة الحرارة لمواد موصلات مختلفة
ب) مخطط التجربة





التجربة ١٣ مقاومة NTC لمراقبة درجة الحرارة في توصيلة قنطرية

التجهيزات : منبع جهد U− = 6 V
مقاومتان $R_1 = R_2 = 1\ k\Omega/2\ W$
مقاومة NTC قرصية الشكل E 201 ZZ/18 طراز Valvo
مقاومة متغيرة (ريوستات) خطيّة ذات تدريج $\alpha = 0...300°,\ 5\ k\Omega/2\ W$
أمبيرمتر

خطوات العمل : ١ – وازن قنطرة المقاومات بواسطة المقاومة المتغيرة واقرأ زاوية الانحراف α_1 عند درجة حرارة الغرفة .

٢ – سخِّن مقاومة NTC بوضعها بين إصبعي السبابة والإبهام لفترة طويلة حتى تصل الى حوالي درجة حرارة الجسم (35°C) ثم وازن قنطرة المقاومات في هذا الوضع دون ترك المقاومة واقرأ زاوية الانحراف α_2 .

٣ – عيِّن قيمة كل من المقاومة الباردة R_c والمقاومة الساخنة R_h والتغير في المقاومة ΔR لمقاومة NTC بواسطة تغير زاوية الانحراف .

القراءات :

$\hat{R}$	Δt	ΔR_3	$R_3 = R_4$		t_2	α_2	t_1	α_1	α
5 kΩ	15°C	464 Ω	666 Ω	1,13 kΩ	35°C	40°	20°C	68°	300°
			ساخن	بارد					

القوانين : $R_{3c} = \frac{\hat{R} \cdot \alpha_1}{\alpha};\ R_{3h} = \frac{\hat{R} \cdot \alpha_2}{\alpha}$

معادلة القنطرة (صفحة ٢٤٠) :

$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2};\ \Delta R_3 = R_{3c} - R_{3h}$

النتيجة : تنخفض قيمة مقاومة الموصل الساخن المسمى أيضا بمقاومة NTC ، بارتفاع درجة الحرارة (راجع شكل تجربة ١٣) ، أي أن معاملها الحراري يكون سالبا ويصبح على وجه التقريب :

$$\alpha = \frac{R_h - R_c}{\Delta t \cdot R_c} = \frac{666\ \Omega - 1130\ \Omega}{15°C \cdot 1130\ \Omega} = -\frac{464\ \Omega}{15°C \cdot 1130\ \Omega}$$

$$\alpha = -0{,}0274\ \frac{\Omega}{°C\ \Omega}$$

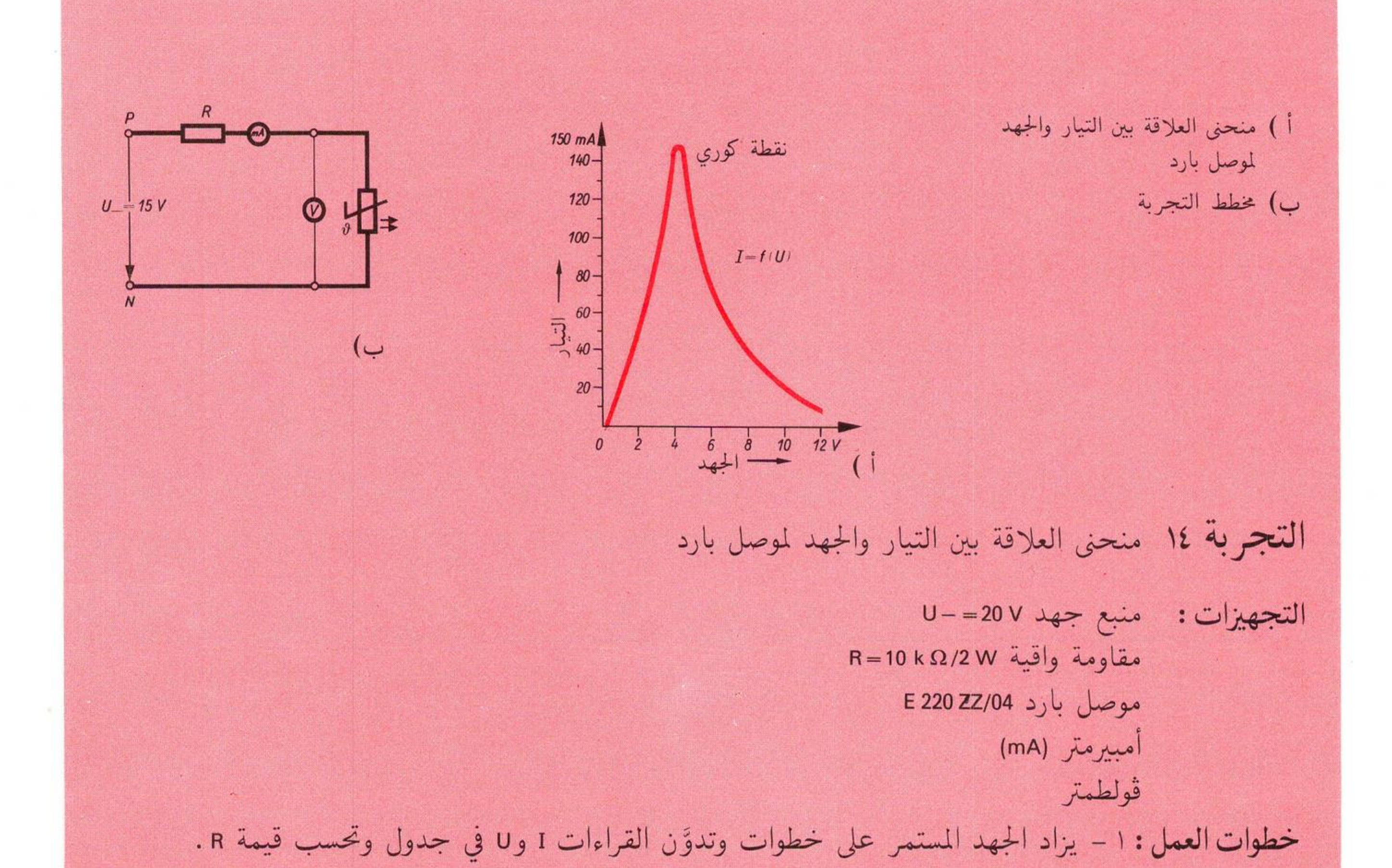
بمعنى أنه عند ارتفاع درجة الحرارة بمقدار 1°C تنخفض قيمة مقاومة الموصل الساخن بمقدار 2,74% .

ويمكن الاستفادة بالتوصيلة القنطرية (بالتجربة ١٣ شكل ب) في انشاء تجهيزات للقياس أو للتحكم في درجة الحرارة. يجري توازن القنطرة عند درجة حرارة الغرفة $t_1 = 20°C$ أي تصبح $R_1 : R_2 = R_3 : R_4$ (انظر صفحة ٤٦). وحينئذ لا يوجد فرق جهد بين النقطتين a و b، ويبين جهاز القياس بالقنطرة جهدا قدره صفر. وعند تغير درجة الحرارة المطلوب قياسها، يتغير أيضا مقدار مقاومة الموصل الحراري الكهربائي R_3 الذي يتأثر بدرجة الحرارة، مما يخل بتوازن القنطرة. وكما يتضح من التجربة ١٣ تتغير مقاومة الموصل الحراري الكهربائي تغيرا كبيرا بارتفاع درجة الحرارة (المنحنى الخصائصي اللاخطي انظر صفحة ٤٦)، بمعنى أنه بالاختيار المناسب لمقاومة NTC، ينشأ فرق جهد كبير بين نقطتي (a–b) عند أي تغير ضئيل في درجة الحرارة (مثلا 0,1°C)، من شأنه أن يشغل تجهيزة مناسبة.

٢-٦-٩ الموصلات الباردة (مقاومة PTC كمقاومة لا خطية)

الموصلات الباردة هي مواد توصل التيار الكهربائي في الحالة الباردة أفضل منها في الحالة الدافئة أو الساخنة – وبتعبير آخر: تنخفض موصلية هذه المواد بارتفاع درجة الحرارة أي أن مقاومتها تزداد.

وتصنع مقاومات PTC من الخزف الحديدي الكهربائي مثل تيتانات الباريوم ($BaTiO_3$) وعند اضافة بعض المواد الخاصة مثل الأنتيمون يصبح لهذه المادة غير الموصلة، طابع خاص من الموصلية (قابلية التوصيل).



أ) منحنى العلاقة بين التيار والجهد لموصل بارد
ب) مخطط التجربة

التجربة ١٤ منحنى العلاقة بين التيار والجهد لموصل بارد

التجهيزات: منبع جهد U – = 20 V
مقاومة واقية R = 10 kΩ/2 W
موصل بارد E 220 ZZ/04
أمبيرمتر (mA)
ڤولطمتر

خطوات العمل: ١ – يزاد الجهد المستمر على خطوات وتدوّن القراءات I و U في جدول وتحسب قيمة R.
٢ – يرسم منحنى العلاقة بين I و U.

المشـاهدة :

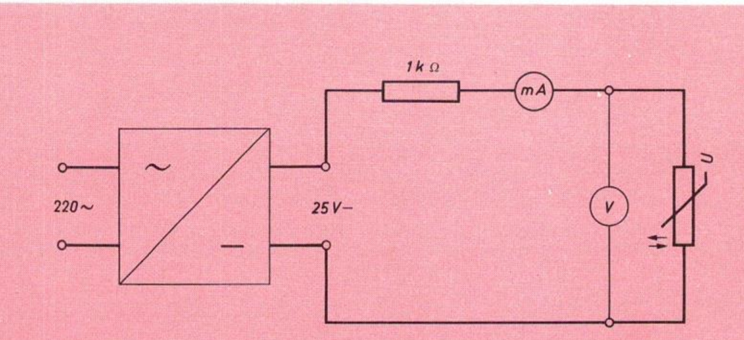
12	11	10,5	10	9	8	7	6	5	4	2	1	0,5	U (V)
8	12	17	20	28	40	53	75	110	150	55	24	10	I (mA)
1500	920	616	500	320	200	132	80	45	26,6	34	41	50	R (Ω)

النتيجة : تسلك الموصلات الباردة مسلك المقاومات العادية ذات معامل المقاومة الحراري الصغير السالب حتى حوالي 5 V، إلا أنه عند تسخينها بعد نقطة كوري Curie point يبدأ التيار في الانخفاض بازدياد الجهد، أي أن المقاومة تزداد .

٢-٦-١٠ المقاومة VDR كمقاومة لا خطية

مقاومات VDR (Voltage Dependent Resistor) هي مقاومات أساسها أشباه موصلات تعتمد قيمتها على الجهد، إذ تنخفض قيمة مقاومتها انخفاضا كبيرا بارتفاع الجهد. وعادة ما يطلق على هذا النوع من المقاومات اسم ڤاريستور أي مقاوم متغير. وتتكون مقاومات VDR من حبيبات كربيد السليكون الملبّدة بمساعدة مادة رابطة. وتركب هذه المقاومات في تجهيزات التيار المستمر والمتردد لتمنع الزيادة المفاجئة في الجهد عند فصل المحاثات (الملفات). ويجب توصيل الڤاريستور على التوازي مع عنصر الدائرة المطلوب حمايته.

الرسم التخطيطي للدائرة



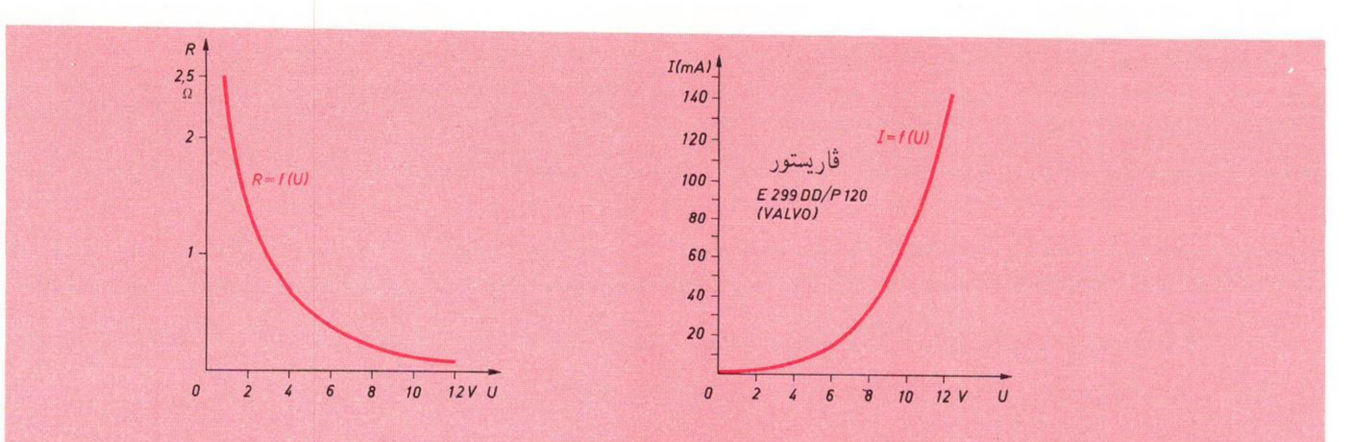
التجربة ١٥ منحنى العلاقة بين التيار والجهد ومنحنى العلاقة بين المقاومة والجهد للڤاريستور.

التجهيزات : كالتجهيزات الموضحة بالشكل العلوي.

خطوات العمل : ١ – يزاد الجهد تدريجيا من 1 V إلى 12 V
٢ – تقرأ قيم كل من I و U وتدوّن في جدول
٣ – يرسم منحنى العلاقة I=f (U)
٤ – تحسب قيم المقاومة وتدوّن في الجدول
٥ – يرسم منحنى العلاقة R=f (U)

المشـاهدة :

12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	U (V)
145	110	78	55	38	26	16,8	10,5	5,8	3	1,3	0,4	I (mA)
0,085	0,1	0,128	0,16	0,21	0,27	0,35	0,48	0,69	1	1,54	2,5	R (Ω)



النتيجة : يشابه منحنى العلاقة بين التيار والجهد، المنحنى الخصائصي للصمامات. وينخفض مقدار المقاومة انخفاضا كبيرا بازدياد الجهد.

تمرينات

١ - اذكر أمثلة في مجالات الهندسة الكهربائية يجب فيها مراعاة تغير المقاومة الناشئ عن ارتفاع درجة الحرارة.

٢ - لماذا تحترق الفتائل المعدنية في مصابيح الإضاءة في أغلب الأحيان عند لحظة وصل التيار؟

٣ - ما هي النسبة بين تيار الوصل وتيار التشغيل في مصابيح الاضاءة ذات الفتيل الكربوني؟

٤ - على ماذا يدل معامل المقاومة الحراري؟

٥ - ما هي المقاومات التي يجب ألا تعتمد على درجة الحرارة ومن أي المواد تصنع؟

٦ - اشرح كيف يمكن مراقبة درجة الحرارة في ملفات محرك كهربائي أثناء التشغيل؟

٧ - يتكون ملف مغنطيسي من سلك من النحاس طوله 560 m ومساحة مقطعه $0,5 \text{ mm}^2$، ويتصل بجهد قدره 24 V، فإذا بلغت قيمة التيار 1,5 A بعد ساعة تشغيل، ما هو مقدار الارتفاع في درجة حرارة الملف؟

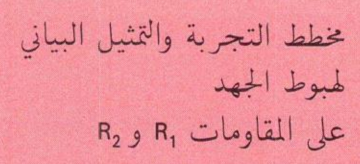
٨ - ارسم منحنيات العلاقة بين الجهد والتيار في التجارب ٤و٩و١١ وقارنها بشكلي ٤٥ - ١ (أ) و (ب). ارسم منحنى العلاقة بين المقاومة والتيار في التجربة ١٢. (احسب R لكل قراءة ودونها على المحور الرأسي).

٩ - ما هو مسلك المقاومات VDR وما هو مجال استخدامها؟

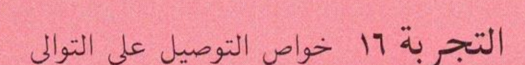
٢-٧ توصيل المقاومات وقوانين تفرُّع التيار

٢-٧-١ توصيل المقاومات على التوالي

عند توصيل المقاومات على التوالي (التجربة ١٦) توصل نهاية المقاومة الأولى ببداية المقاومة الثانية ونهاية المقاومة الثانية ببداية المقاومة الثالثة وهكذا.


مخطط التجربة والتمثيل البياني
لهبوط الجهد
على المقاومات R_1 و R_2

هبوط الجهد عبر R_1 و R_2


التجربة ١٦ خواص التوصيل على التوالي

التجهيزات : انظر الرسم التخطيطي للدائرة

خطوات العمل : ١ – صل المقاومة R_1 أولا ثم المقاومة R_2 بمفردها في الدائرة الكهربائية واقرأ التيار المناظر في كل حالة .
٢ – صل المقاومتين R_1 و R_2 على التوالي ودوّن قراءة الأمبيرمتر .
٣ – ضع الڤولطمتر على كل مقاومة ودوّن قراءة قيمة الجهد .

المشاهدة : في الخطوة ١ : $I_1=1{,}2\ A$ و $I_2=0{,}6\ A$.
في الخطوة ٢ : يبين الأمبيرمتران نفس القيمة $I=0{,}4\ A$.
في الخطوة ٣ : تبين الڤولطمترات : $U_1=4\ V,\ U_2=8\ V,\ U=U_1+U_2=12\ V$

النتيجة : يسري نفس التيار في كل من المقاومتين في حالة التوصيل على التوالي . ويزداد مقدار المقاومة وهذا يعني انخفاض في التيار . وتختلف قيمة الجهود الفرعية (الجزئية) المقاسة ، إلا أن مجموعها يساوي الجهد الكلي .
يوجد هبوط في الجهد (تناقص الجهد) في كل مقاومة يسري بها تيار .

خواص التوصيل على التوالي :

أ) **في التوصيل على التوالي يسري نفس التيار في كل المقاومات . ولا يمكن أن يوجد في أي موقع من الدائرة الكهربائية ثغرة في حركة الإلكترونات ، كما أنه لا يمكن أن يحدث تراكم .**

ب) **في التوصيل على التوالي يكون الجهد الكلي مساويا لمجموع الجهود الفرعية (الجزئية) (صيغة مبسطة لقانون كيرشهوف الثاني) .**

ولدفع التيار I خلال المقاومة R_1 نحتاج – طبقا لقانون أوم – إلى جهد جزئي على طرفي المقاومة يعادل $U_1=R_1\cdot I$ ، كما نحتاج الى جهد $U_2=R_2\cdot I$ للمقاومة R_2 .

ويستهلك جزء من الجهد الكلي لكل جزء من أجزاء الدائرة (انظر صفحة ٤٩) . وبصفة عامة تنطبق العلاقة التالية لعدد n من المقاومات :

$$U=U_1+U_2+\cdots U_n$$

* قام العالم الفيزيائي الألماني كيرشهوف Kirchhoff ، ١٨٢٤ – ١٨٨٧ بوضع قوانين تفرع التيار .

ج) في حالة التوصيل على التوالي تكون المقاومة الكلية مساوية لمجموع المقاومات الفردية.

وطبقا لقانون أوم، يمكن التعويض عن قيمة U بالمقدار R·I وذلك في العلاقة: $U=U_1+U_2+...U_n$ فنحصل على: $R\cdot I=R_1\cdot I+R_2\cdot I+\cdots R_n\cdot I$. وبقسمة طرفي المعادلة على I نحصل على العلاقة لعدد n من المقاومات:

$$R=R_1+R_2+\cdots R_n$$

د) تتناسب الجهود الكهربائية الجزئية مع قيم المقاومات التي تنتمي إليها.

وطبقا لقانون أوم ينطبق أيضا: $I=\frac{U_1}{R_1}=\frac{U_2}{R_2}=\cdots\frac{U_n}{R_n}$.

ولمقاومتين:

$$U_1:U_2=R_1:R_2$$

مثال ١: إحسب قيمة كل من التيار I والمقاومة R_2 والجهد الكلي U في الدائرة الموضحة بشكل (٥١-١).

المعطيات: $U_1=100\ V$ و $U_2=80\ V$ و $R_1=50\ \Omega$

المطلوب: $U=$ ؟ V و $R_2=$ ؟ Ω و $I=$ ؟A

الحل: $I=\frac{U_1}{R_1}=2\ A$

$R_2=\frac{U_2}{I}=40\ \Omega$

$U=U_1+U_2=180\ V$

٥١ - ١ شكل مثال ١

مثال ٢: ما مقدار المقاومة الكلية والتيار عند توصيل مقاومتين $R_1=60\ \Omega$, $R_2=50\ \Omega$ على التوالي بجهد قدره 220 V؟

المعطيات: $U=220\ V$ و $R_1=60\ \Omega$ و $R_2=50\ \Omega$

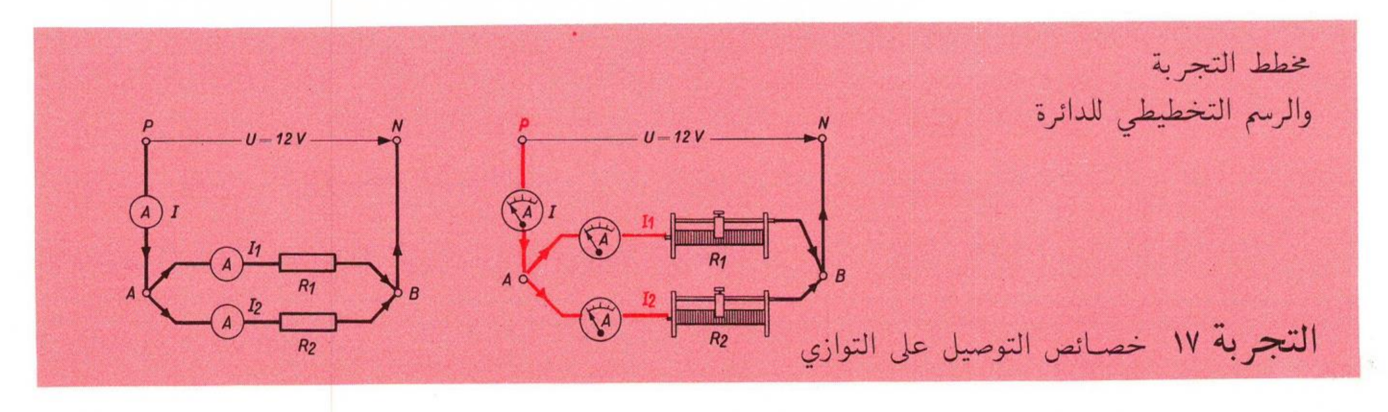
المطلوب: حساب كل من شدة التيار (I) بالأمبير والمقاومة بالأوم.

الحل: $R=R_1+R_2=110\ \Omega$

$I=\frac{U}{R}=\frac{220\ V}{110\ \Omega}=2\ A$

٢-٧-٢ توصيل المقاومات على التوازي

في حالة التوصيل على التوازي، تقع كل المقاومات تحت تأثير الجهد نفسه أي تكون كل البدايات متصلة ببعضها البعض وكذلك الأمر بالنسبة للنهايات (مخطط التجربة ١٧). وفي هذه الحالة يتفرع التيار في مسارات متعددة متجاورة أو متوازية ولذلك يسمى هذا النوع من التوصيل بالتوصيل على التوازي. ويمكن استبدال المقاومات الموصلة على التوازي بمقاومة كلية واحدة.



التجربة ١٧ خصائص التوصيل على التوازي

التجهيزات : a = منبع جهد
b = مقاومات $R_1=10\,\Omega$؛ $R_2=20\,\Omega$
c = أمبيرمترات I و I_1 و I_2

خطوات العمل : تقرأ التيارات على كل أجهزة القياس

المشاهدة : $I=1{,}8\,A$ و $I_1=1{,}2\,A$ و $I_2=0{,}6\,A$

النتيجة : تختلف شدة التيارات المقاسة طبقا لقانون أوم الذي يقضي بأنه مع ثبات الجهد يسري تيار صغير في المقاومات الكبيرة ويسري تيار كبير في المقاومات الصغيرة. ويمكن استبدال المقاومتين المتصلتين على التوازي بمقاومة واحدة. وطبقا لقانون أوم تبلغ قيمة هذه المقاومة الكلية :

$$R=\frac{U}{I}=\frac{12\,V}{1{,}8\,A}=6\tfrac{2}{3}\,\Omega$$

أي أنها أصغر من أصغر المقاومات الموجودة (في هذه التجربة $10\,\Omega$).

خصائص التوصيل على التوازي :

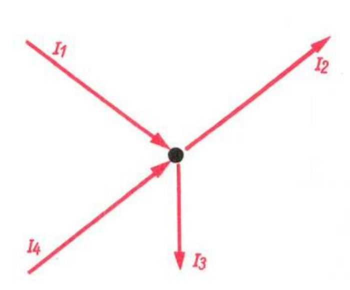
أ) في التوصيل على التوازي تقع كل المقاومات تحت نفس الجهد U.
ب) في التوصيل على التوازي يكون التيار الكلي المار I مساويا لمجموع التيارات في الفروع المتوازية.

$$I=I_1+I_2+\cdots I_n$$

وتنطبق القواعد التالية عند نقطة توصيل (عقدة) عدة مقاومات :

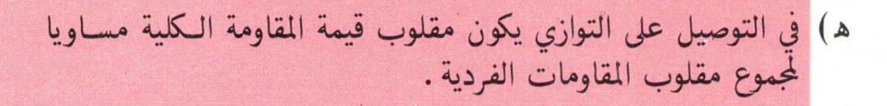
ج) مجموع التيارات الداخلة يساوي مجموع التيارات الخارجة (قانون كيرشهوف الأول شكل ٥٢-١).

د) في التوصيل على التوازي تكون المقاومة الكلية أقل من أصغر المقاومات الفردية الموجودة.



٥٢ - ١ قانون كيرشهوف. للرسم الموضح تنطبق العلاقة : $I_1+I_4=I_2+I_3$

عند توصيل مقاومات على التوازي فإن ذلك يعني عمليا زيادة المقطع الكلي أي أن مقدار المقاومة يقل.


هـ) في التوصيل على التوازي يكون مقلوب قيمة المقاومة الكلية مساويا لمجموع مقلوب المقاومات الفردية.

وطبقا لقانون أوم نجد أن : $I_1=U/R_1$ و $I_2=U/R_2$ و $I_n=U/R_n$.

فإذا رمزنا للمقاومة الكلية بالرمز R (وهي المقاومة التي تحل محل كل المقاومات الفردية)، فإنه يكون أيضا $I=U/R$.

وحيث أن : $I=I_1+I_2+\cdots I_n$. فإن : $U/R=U/R_1+U/R_2+\cdots U/R_n$.

وبالقسمة على U نحصل على :

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots\frac{1}{R_n}$$

وبتعديل الصيغة الرياضية لمقاومتين ينتج أن :

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

أما إذا كانت المقاومة الكلية معلومة وكذلك إحدى المقاومتين فإنه يمكن حساب قيمة المقاومة الأخرى من :

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R}{R_2 - R}$$

و) **في التوصيل على التوازي تكون المواصلة الكلية مساوية لمجموع المواصلات الفردية .**

وبالتعويض عن مقلوب قيمة المقاومة بالمواصلة $G=1/R$ نحصل على :

$$G = G_1 + G_2 + \cdots G_n$$

ز) **في التوصيل على التوازي تتناسب قيم التيارات الفرعية تناسبا عكسيا مع قيم المقاومات التي تمر بها .**

وبتطبيق هذا المبدأ في حالة مقاومتين نحصل على :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

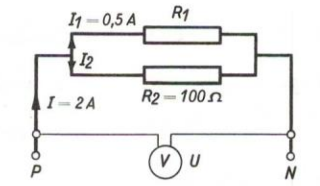
مثال ١ : ماقيمة كل من المقاومة الكلية والتيار المار في مقاومتين قيمة كل منهما $110\,\Omega$ وموصّلتين على التوازي بجهد قدره $220\,V$؟

المعطيات : $U = 220\,V;\ R_2 = 110\,\Omega;\ R_1 = 110\,\Omega$

المطلوب : حساب المقاومة R بوحدة (Ω) وشدة التيار I بوحدة (A)

الحل : $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{110\,\Omega} + \frac{1}{110\,\Omega} = \frac{2}{110\,\Omega};\ R = \frac{110\,\Omega}{2} = 55\,\Omega$

أو $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{110\,\Omega \cdot 110\,\Omega}{220\,\Omega} = 55\,\Omega;\ I = \frac{U}{R} = \frac{220\,V}{55\,\Omega} = 4\,A$



٥٣ – ١ شكل مثال ٢.

مثال ٢ : احسب شدة التيار I_2 والمقاومة R_1 والجهد U في الدائرة المرسومة بشكل (٥٣–١) .

المعطيات : $R_2 = 100\,\Omega;\ I_1 = 0{,}5\,A;\ I = 2\,A$

المطلوب : حساب شدة التيار I_2 بوحدة (A) والمقاومة R_1 بوحدة (Ω) وفرق الجهد U بوحدة (V)

الحل : $I = I_1 + I_2;\ I_2 = I - I_1 = 2{,}0\,A - 0{,}5\,A = 1{,}5\,A$

$U = R_2 \cdot I_2 = 100\,\Omega \cdot 1{,}5\,A = 150\,V$

$R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{150\,V}{0{,}5\,A} = 300\,\Omega$

مثال ٣ : احسب مقدار المقاومة الكلية للدائرة الموصلة على التوازي بشكل (٥٣–٢) وذلك :

أ) باستخدام المواصلة

ب) بالاستعانة بجهد اختياري U

المعطيات : $R_1 = 20\,\Omega;\ R_2 = 4\,\Omega;\ R_3 = 5\,\Omega$

المطلوب : حساب المقاومة R بوحدة (Ω) .

الحل : أ) $G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{20\,\Omega} = 0{,}05\,S;\ G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{4\,\Omega} = 0{,}25\,S$

$G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{5\,\Omega} = 0{,}2\,S;\ G = G_1 + G_2 + G_3 = 0{,}5\,S$

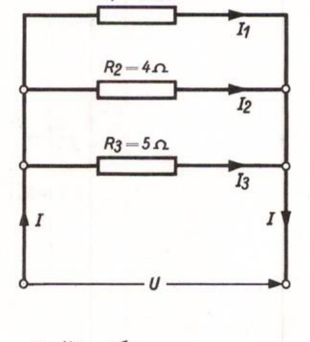
$R = \frac{1}{G} = \frac{1}{0{,}5\,S} = 2\,\Omega$

ب) كجهد يختار على سبيل المثال $U = 1\,V$

$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{1\,V}{20\,\Omega} = 0{,}05\,A;\ I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{1\,V}{4\,\Omega} = 0{,}25\,A$

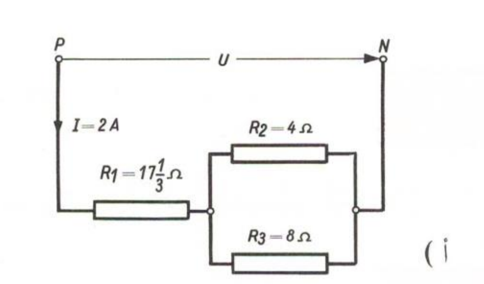
$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{1\,V}{5\,\Omega} = 0{,}2\,A;\ I = I_1 + I_2 + I_3 = 0{,}5\,A$

$R = \frac{U}{I} = \frac{1\,V}{0{,}5\,A} = 2\,\Omega$

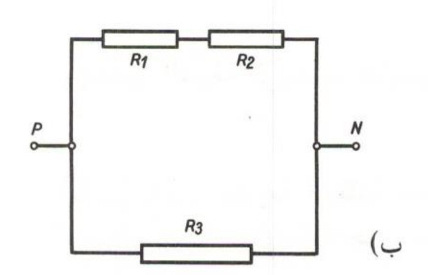


٥٣ – ٢ شكل مثال ٣.

٥٤ – ١ توصيلات مختلطة (مركّبة) .



أ)



ب)

مثال ٤ : ماقيمة المقاومة التي يجب توصيلها على التوازي مع مقاومة أخرى قيمتها 4 kΩ لتعطي مقاومة كلية قدرها 3 kΩ؟

المعطيات : $R_2=4\ k\Omega;\ R=3\ k\Omega$

المطلوب : حساب قيمة المقاومة R_1 بوحدة (Ω)

الحل : $R_1=\frac{R_2\cdot R}{R_2-R}=\frac{4\ k\Omega\cdot 3\ k\Omega}{4\ k\Omega-3\ k\Omega}=12\ k\Omega$

٢ – ٧ – ٣ التوصيل المختلط (المركّب) للمقاومات

يتكوّن التوصيل المختلط (المركّب) من توصيل دائرة واحدة على التوالي وأخرى على التوازي على الأقل معا .

طرق الحل : إذا كان التوصيل على التوازي جزءا من التوصيل على التوالي (شكل ٥٤–١–أ) تحسب أولا قيمة المقاومة لتوصيلة التوازي ثم لتوصيلة التوالي . أما إذا كان التوصيل على التوالي يمثل جزءا من التوصيل على التوازي (شكل ٥٤–١–ب) فإن الحساب يتم بالعكس .

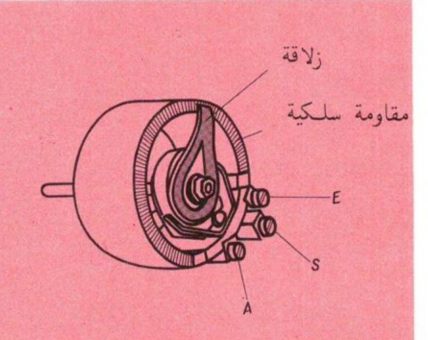
مثال : احسب مقدار المقاومة الكلية للمقاومات R_1 و R_2 و R_3 وجهد الشبكة U طبقا للدائرة الموضحة في شكل ٥٤–١أ) .

المعطيات : $I=2\ A;\ R_1=17\ {}^1/_3\ \Omega;\ R_2=4\ \Omega;\ R_3=8\ \Omega$

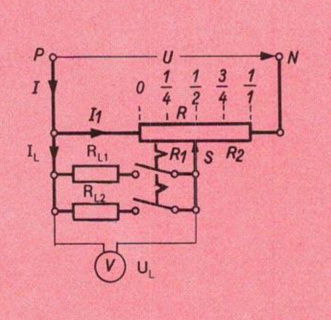
المطلوب : حساب المقاومة R بوحدة (Ω) وفرق الجهد بوحدة (V) .

الحل : $\frac{1}{R\ 2{,}3}=\frac{1}{4\ \Omega}+\frac{1}{8\ \Omega}=\frac{3}{8\ \Omega};\ R\ 2{,}3=\frac{8\ \Omega}{3}=2\,{}^2/_3\ \Omega$

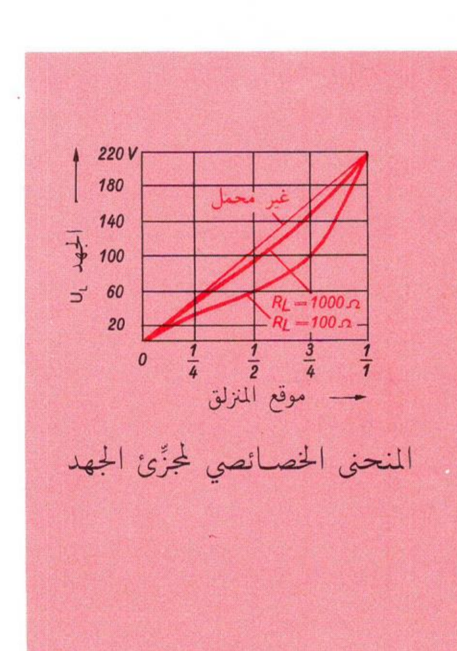
$R=17\,{}^1/_3\ \Omega+2\,{}^2/_3\ \Omega=20\ \Omega;\ U=R\cdot I=20\ \Omega\cdot 2\ A=40\ V$



ريوستات كمجزِّئ للجهد



مخطط التجربة



المنحنى الخصائصي لمجزِّئ الجهد

التجربة ١٨ مجزِّئ الجهد المحمّل كمثال على التوصيل المختلط

التجهيزات :
a = منبع جهد 220 V
b = مقاومة انزلاقية R = 330 Ω كمجزِّئ للجهد
c = مقاومتان انزلاقيتان $R_{L1}=100\ \Omega;\ R_{L2}=1000\ \Omega$ للتحميل
d = ڤولطمتر ، مدى قياسه 250 V

خطوات العمل : ١ - يتم التوصيل طبقا لمخطط التوصيل

٢ - يحرّك المنزلق S ببطء من الوضع 0 في اتجاه 1/1 وتقرأ قيمة الجهد عند الأوضاع الموضحة بالرسم .

٣ - يحمّل مجزّئ الجهد بالمقاومة $R_{L1} = 100\,\Omega$ ثم يعاد إجراء ما ورد في (٢) .

٤ - يحمل مجزئ الجهد بالمقاومة $R_{L2} = 1000\,\Omega$ ثم يعاد إجراء ما ورد في (٢) .

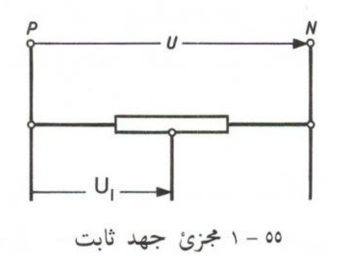
٥ - ارسم منحنى العلاقة بين الجهد والمقاومة .

المشاهدة :

الوضع	0	1/4	1/2	3/4	1/1	ملاحظات
الجهدبوحدة (V)	0	55	110	165	220	بدون حمل
	0	34	60	102	220	محمّل بالمقاومة R_1
	0	52	103	156	220	محمّل بالمقاومة R_2

النتيجة : يتناسب تغير الجهد على مجزئ الجهد غير المحمل تناسبا طرديا مع مقدار المقاومة ، أما عند تحميل مجزئ الجهد بمقاومات فيعتمد الجهد على قيمة مقاومات التحميل .

بينما يقسم المنزلق المقاومة R في مجزئ الجهد غير المحمّل إلى R_1 و R_2 (متصلتين على التوالي) ، نجد أنه في مجزئ الجهد المحمل تكون R_1 موصّلة على التوازي بمقاومة الحمل R_L والكل على التوالي مع المقاومة R_2 (توصيل مركب) .



٥٥ - ١ مجزئ جهد ثابت

ملاحظة : يطلق على التيار I_1 المار في المقاومة الجزئية R_1 لمجزئ الجهد المحمل اسم التيار المعترض (cross current) ويجب أن يكون مقدار هذا التيار كبيرا بالمقارنة بتيار الحمل I_L حتى يتناسب الجهد U_L - بقدر الإمكان - مع قيمة المقاومة المأخوذة R_1 (الشكل بالتجربة ١٨) . لذلك يستخدم مجزئ الجهد فقط لتيارات التحميل الصغيرة كما هو الحال في أجهزة الاتصالات على سبيل المثال .

وتوجد هناك مجزئات ثابتة للجهد (شكل ٥٥-١) وأخرى قابلة للتغيير (كالشكل بالتجربة ١٨) . وتتيح المقاومة R - التي استخدمت في التجربة - تقسيم الجهد الكلي بواسطة المنزلق S حسب الرغبة (مجزئ جهد) . وعلى عكس مجزئ الجهد الثابت يمكن الحصول على أية قيمة اختيارية للجهد تقع بين الصفر وجهد الشبكة .

مثال : بمعرفة القيم التالية لمجزئ الجهد (الموضح بالشكل بالتجربة ١٨) : الجهد (U) = 220 V والمقاومة (R) = 100 Ω ومقاومة الحمل (R_L) هي 45 Ω مرة و 450 Ω مرة أخرى . اوجد قيمة الجهد U_L في الحالتين (أ) و (ب) إذا ما قسّم المنزلق S المقاومة R بحيث كانت : $R_1 = R_2$.

المعطيات : الجهد (U) = 220 V والمقاومة (R) = 100 Ω ومقاومة الحمل (R_L) هي 45 Ω مرة و 450 Ω مرة أخرى . $R_1 = 50\,\Omega$ ؛ $R_2 = 50\,\Omega$.

المطلوب : إيجاد قيمة جهد الحمل (U_L) بالفولط .

الحل : أ) المقاومة الكلية للتوصيل المركّب

$$R = \frac{R_1 \cdot R_L}{R_1 + R_L} + R_2 = \frac{50\,\Omega \cdot 45\,\Omega}{95\,\Omega} + 50\,\Omega = 23{,}7\,\Omega + 50\,\Omega = 73{,}7\,\Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220\text{ V}}{73{,}7\,\Omega} = 2{,}98\text{ A};\ U_L = I \cdot R_{1L} = 2{,}98\text{ A} \cdot 23{,}7\,\Omega = 70{,}5\text{ V}$$

الحل : ب)

$$R = \frac{R_1 \cdot R_L}{R_1 + R_L} + R_2 = \frac{50\,\Omega \cdot 450\,\Omega}{500\,\Omega} + 50\,\Omega = 45\,\Omega + 50\,\Omega = 95\,\Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220\text{ V}}{95\,\Omega} = 2{,}32\text{ A};\ U_L = I \cdot R_{1L} = 2{,}32\text{ A} \cdot 45\,\Omega = 103{,}5\text{ V}$$

في الحالة الثانية نجد أن تيار الحمل I_L ، بالمقارنة بالتيار المعترض (cross current) صغير بدرجة ملحوظة ولذلك يوجد على R_L جهد مرتفع .

٥٦ – ١ توصيل مقاومة لا خطية مع مقاومة أومية على التوالي .

الجهد على مقاومة الحديد مع الهيدروجين

الجهد على المقاومة الأومية

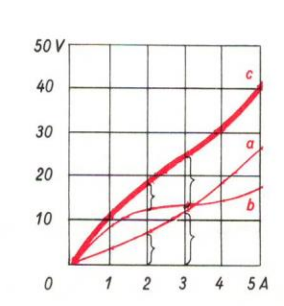
٢–٧–٤ الحل بالرسم

التوصيل على التوالي لمقاومة لاخطيّة ومقاومة أومية .
اذا وصلت مقاومة حديد مع هيدروجين على التوالي مع مقاومة أومية R = 100 Ω ، فما هي شدة التيار المـار في التوصيلة وكيف يتوزع جهد كهربائي قدره 50 V على كل من المقاومتين؟ (شكل ٥٦–١) .

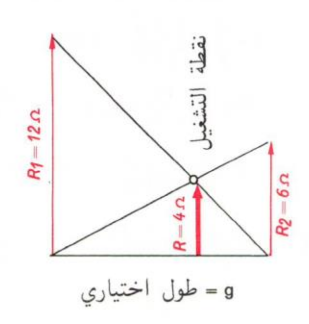
بعد رسم المنحنى الخصـائصي لمقاومة الحديد مع الهيدروجين (a)، يرسم المنحنى الخصـائصي الخطي للمقاومة الأومية على أن يتم ذلك في عكس الإتجاه المعتاد، أي أنه يكون صـاعدا من اليمين الى اليسـار . وباستخدام جهد كهربائي قدره 50 V يكون التيار المـار في المقاومة الأومية 0,5 A . وبتوصيل النقطتين نحصل على خط المقاومة (b) . ونستنتج من نقطة التقاطع S أن التيار المـار في توصيلة التوالي يبلغ 0,18 A . ويوجد على مقاومة الحديد مع الهيدروجين جهد يبلغ 32 V ، بينما يوجد على المقاومة الأومية جهد يبلغ 18 V . ويمكن حل المسـألة بالرسم فقط .

التوصيل على التوالي لمقاومتين لا خطيتين بواسطة منحنى العلاقة بين الجهد والتيار . إذا جمعنا قيم الجهود المناظرة لقيمة واحدة للتيار من منحنيات العلاقة بين التيار والجهد أو بين الجهد والتيار، نحصل على المنحنى الخصـائصي للتوصيل على التوالي كنتيجة لذلك (شكل ٥٦–٢) .

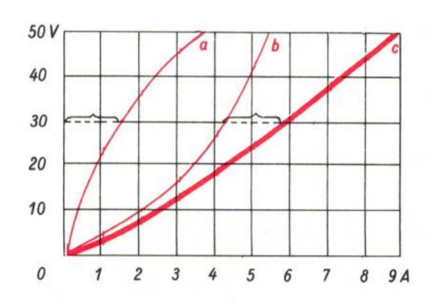
التوصيل على التوازي لمقاومتين أوميتين . يرسم سهمان رأسيّان على خط أفقي (g) يبعدان عن بعضهما بمسـافة إختيارية ويمثلان المقاومتين R_1 و R_2 بمقياس رسم مناسب، ثم توصّل بداية كل سهم بنهاية الآخر، فتكون المقاومة الـكلية للتوصيلة ممثّلة بالخط الرأسي الواصل بين نقطة تقاطع خطّي التوصيل والخط الأفقي (شكل ٥٦–٣) .



٥٦ – ٢ يمكن الحصول على المنحنى الخصـائصي لمقاومتين لا خطيتين (c) موصلتين على التوالي من المنحنيين الخصـائصيين a و b ، بجمع قيم الجهد المناظرة لقيم متسـاوية للتيار .



٥٦ – ٣ قيمة المقاومة الـكلية لمقاومتين أوميتين متصلتين على التوازي



٥٦ – ٤ يمكن الحصول على المنحنى الخصـائصي لمقاومتين لا خطيتين (c) موصلتين على التوازي من المنحنيين الخصـائصيين a و b بجمع قيم التيار المناظرة لنفس قيم الجهد .

التوصيل على التوازي لمقاومتين لا خطيّتين. بجمع قيم التيارات المناظرة لقيمة واحدة للجهد من منحنيات العلاقة بين التيار والجهد أو الجهد والتيار للمقاومات، فإننا نحصل على المنحنى الخصائصي للتوصيل على التوازي (شكل ٥٦-٤).

التوصيل المتعاكس لمقاومتين: ويقصد به توصيلهما على التوالي بقطبية متعاكسة ويتعلق الأمر هنا غالبا بوحدتي تقويم للتيار (ذوات طبقة حاجزة) متشابهتي الخواص يراد الاستفادة بمجال تيارهما العكسي.

التوصيل العكسي على التوازي: وفي هذه الحالة توصل مقاومتان ذوات أقطاب (وحدتا تقويم التيار) على التوازي بقطبية متعاكسة للإستفادة من إتجاهي توصيلهما الأماميين.

٢-٧-٥ المقاومات - أنواعها - مواصفاتها

٢-٧-٥-١ المقاومات المتغيرة

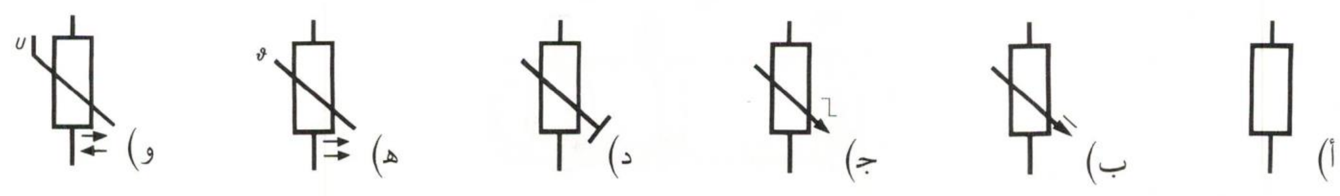
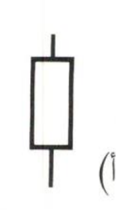
المقاومة المتغيرة (الريوستات) ذات الملف السلكي للأحمال الكبيرة: يبيّن الشكل بالتجربة ١٨ مقاومة متغيرة (ريوستات) بملف سلكي على سطح جسم أسطواني أجوف عازل. ويغطى كل الملف السلكي بإستثناء سطح التلامس بطبقة عازلة. ويمكن إستخدام المقاومة المتغيرة كمجزّئ للجهد بواسطة المنزلق S والطرفين (البداية، والنهاية).

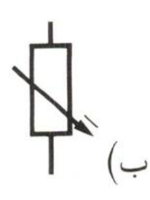
المقاومة المتغيرة (الريوستات) ذات طبقة الجرافيت الموصلة للأحمال الصغيرة. ويمكن في هذه الحالة تغيير قيمة المقاومة تغييرا مستمرا بواسطة المنزلق كما في المقاومة المتغيرة ذات الملف السلكي. وتكون طبقة الجرافيت المستخدمة مرشوشة على حامل من الخزف أو مصنوع من مادة مضغوطة.

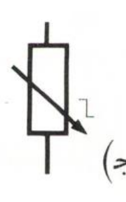
المنحنيات الخصائصية للمقاومات المتغيرة: يكون المنحنى الخصائصي للمقاومة الخطية المتغيرة المثالية المحمّلة أو غير المحمّلة خطا مستقيما، إلا أن العلاقة بين وضع المنزلق والجهد الجزئي المأخوذ من المقاومة تتأثر تأثرا ملحوظا بالحمل كما هو مبين في التجربة (١٨) والمثال في صفحة (٥٥). ويزداد هذا التأثر كلما ازدادت قيمة المقاومة الكلية R بالنسبة لمقاومة الحمل R_L (منحنى العلاقة في التجربة ١٨).

وللمقاومات المتغيرة ذات الملف السلكي منحنى خصائصي خطي. ويسمى المنحنى الخصائصي لمقاومة دوران متغيرة بمنحنى أُسّي، اذا ارتبطت الإزاحات الزاوية المتساوية بنسب متساوية بين قيم المقاومات. ويبين شكل (٥٨ - ١) منحنى خصائصي بتزايد أسي أو لوغاريتمي موجب وآخر بتناقص أسي أو لوغاريتمي سالب.

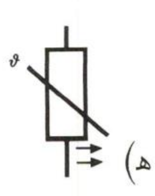
٥٧ - ١ أنواع المقاومات مصنفة حسب طريقة تغييرها.
أ) مقاومة ثابتة. ب) منزلقة التغير. ج) متدرجة التغير. د) لا تتغير أثناء التشغيل (مقاومة ضبط). هـ) مقاومة معتمدة على درجة الحرارة. يكون التغير في قيمة المقاومة في نفس اتجاه تغير درجة الحرارة. و) مقاومة معتمدة على الجهد. يكون التغير في قيمة المقاومة مضادا لتغير الجهد.

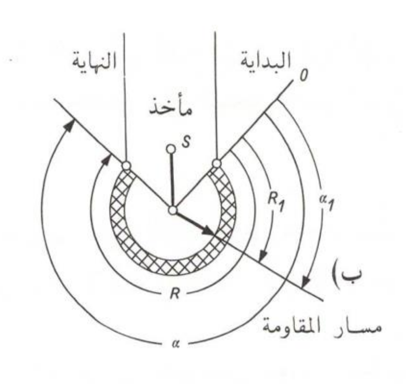



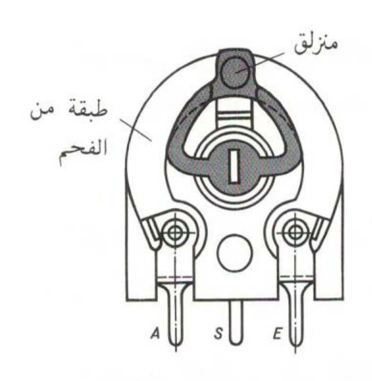




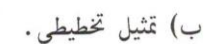


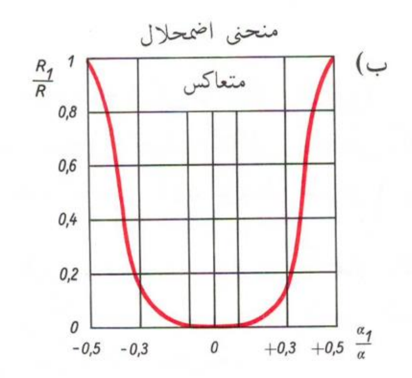






٥٨ – ١ أ) المنحنى الخصائصي اللوغاريتمي الموجب والسالب لمقاومة متغيرة (ريوستات).


ب) تمثيل تخطيطي.



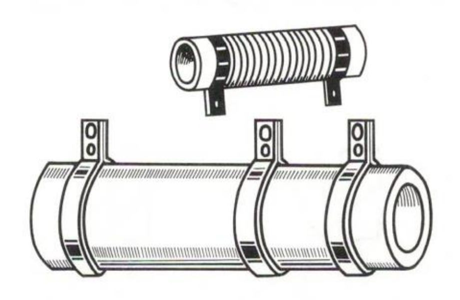
٥٨ – ٢ أ) المنحنى الخصائصي لمقاومة متغيرة (ريوستات) على شكل حرف s.
ب) المنحنى الخصائصي للتناقص المتعاكس لمقاومة متغيرة (ريوستات).

وللحصول على المقاومة اللوغاريتمية السالبة تُبدَّل أطراف البداية والنهاية مع بعضها البعض. وفي كثير من الأحيان تستخدم المقاومات الدوّارة المتغيرة ذوات المنحنيات الخصائصية على شكل حرف s أو بإضمحلال متعاكس (شكل ٥٨ – ٢).

٢-٧-٥-٢ المقاومات الثابتة

المقاومات السلكية (شكل ٥٨ – ٣) : وتصنع من أسلاك مقاومة غير معزولة لكنها مغطاة بطبقة أكسيد (مثال ذلك النيكلين)، حيث يلف السلك على أنبوبة خزفية ويثبَّت بمشابك من شريط معدني في نهايتيه كما يستخدم مشبك آخر لتقسيم الجهد. ولا تعوق طبقة الأكسيد إتصال المشابك بسلك المقاومة، لأنه يسهل على الجهد الكهربائي الموصل بالمقاومة عمل تماس مباشر خلالها.

٥٨ – ٣ مقاومة سلكية ثابتة.



المقاومات ذات طبقة الكربون. يُغلَّف حامل أسطواني من الصيني أو الخزف بطبقة مقاومة رقيقة من الكربون معالجة بطريقة خاصة. وُتغطَّى هذه الطبقة بالطلاء أو بالراتنج الإصطناعي لوقايتها من التلف وتأثير الرطوبة (شكل ٥٩ – ١).



٥٩ – ١ مقاومة ذات طبقة جرافيت.

المقاومات المعدنية. تتكون الطبقة المقاومة من طبقة رقيقة من معدن ثمين. ويوجد منها نوعان، أحدهما مطلي والآخر مضغوط. وتصنع كل الأنواع بتفاوت في قيمة المقاومة في حدود ±1% ولا يتجاوز معامل مقاومتها الحراري $\pm 100 \cdot 10^{-6}/°C$. ويبلغ المدى المسموح به لدرجات الحرارة من (−55°C) إلى (+155°C). أما مقاومات طبقة أكاسيد المعادن فتكون بها طبقة رقيقة من أكسيد معدن مُكثَّفة على سطح حامل أسطواني خزفي. وللوقاية من تأثير العوامل الخارجية تغلف طبقة المقاومة بغلاف من مادة متينة وغير قابلة للكسر.

٢–٧–٥–٣ رموز ألوان المقاومات.

اللون	التفاوت المسموح %	الأس العشري	الرقم الثاني	الرقم الأول
أسود	±20	10^0	0	0
بني	± 1	10^1	1	1
أحمر	± 2	10^2	2	2
برتقالي	± 3	10^3	3	3
أصفر	± 4	10^4	4	4
أخضر	± 5	10^5	5	5
أزرق	± 6	10^6	6	6
بنفسجي	± 7	10^7	7	7
رمادي	± 8	10^{-2}	8	8
أبيض	± 9	10^{-1}	9	9
ذهبي	± 5	10^{-1}	–	–
فضي	±10	10^{-2}	–	–
بدون لون	±20	–	–	–

لما كان اللونان الذهبي والفضي موصلين للكهرباء فهما لا يستخدمان دائما، لذلك يستعاض عن اللون الذهبي للقيمة 10^{-1} بالأبيض، وللتفاوت ±5% بالأخضر، كما يستعاض عن اللون الفضي للقيمة 10^{-2} بالرمادي وللتفاوت ±10% بالأبيض.

أمثلة:

A B C D

بني – أحمر – أخضر – أسود

$= 12 \cdot 10^5\ \Omega \pm 20\%$

أزرق – أسود – أبيض – فضي

$= 60 \cdot 10^{-1} = 6\ \Omega \pm 10\%$

أصفر – بنفسجي – أبيض – أحمر

$= 4{,}7\ \Omega \pm 2\%$

٢–٧–٥–٤ القيم القياسية طبقا لمواصفات التسلسل القياسي الدولي والتسلسل القياسي الألماني (DIN)

قيم المقاومات طبقا للتسلسل الدولي

E 6	1,0				1,5				2,2				3,3				4,7				6,8			
E 12	1,0		1,2		1,5		1,8		2,2		2,7		3,3		3,9		4,7		5,6		6,8		8,2	
E 24	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

التفاوت في كل صنف كما يلي: E 6: ±20%, E 12: ±10%, E 24: ±5%

قيم المقاومات طبقا للمواصفات الألمـانية (DIN)

6,30				4,00				2,50				1,60				1,00				R 5
8,00		6,30		5,00		4,00		3,15		2,50		2,00		1,60		1,25		1,00		R 10
9,00	8,00	7,10	6,30	5,60	5,00	4,50	4,00	3,55	3,15	2,80	2,50	2,24	2,00	1,80	1,60	1,40	1,25	1,12	1,00	R 20
9,00 9,50	8,00 8,50	7,10 7,50	6,30 6,70	5,60 6,00	5,00 5,30	4,50 4,75	4,00 4,25	3,55 3,75	3,15 3,35	2,80 3,00	2,50 2,65	2,24 2,36	2,00 2,12	1,80 1,90	1,60 1,70	1,40 1,50	1,25 1,32	1,12 1,18	1,00 1,06	R 40

٢-٧-٦ مقاومة التلامس ومقاومة العزل

مقاومة التلامس غير مرغوب فيها. وتنشأ هذه المقاومة عند مواقع التلامس أي عند موضع ربط موصلين. لذلك يجب العناية بربط الموصلات ربطا جيدا، إذ أن ضغط الأطراف المتلامسة مع بعضها البعض يخفض المقاومة الإضافية (شكل ٦٠-١).

مقاومة العزل في التركيبات الكهربائية. من المعروف أن التيار الكهربائي لا يمر إلا في دائرة كهربائية مقفلة (شكل ٦٠-٢أ). أما إذا بيّن الأمبيرمتر قراءة ما، بينما كان الحمل غير متصل بالدائرة، فإن ذلك يعني بالتحديد أن هناك تسربا للتيار بين الموصلات المعزولة (شكل ٦٠-٢ب). وتبعا لذلك يكون بالعازل تلف في موقع أو عدة مواقع مما يؤدي إلى وصل الدائرة الكهربائية عن غير قصد. ويعبر الفنيون عن ذلك بأن هناك تلفا في العزل بين الموصلات. ولا يمكن تجَنّبُ تلف العزل تماما في الحياة العملية. وتنص توصيات اتحاد مهندسي الكهرباء الألمان VDE على ضرورة أن تكون قيمة العزل للتوصيلات مرتفعة للغاية.

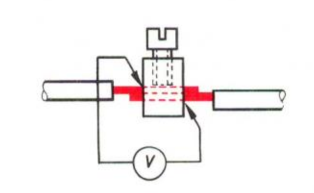
لا يصح أن يتجاوز التيار المتسرب 1 mA لكل 100 m من طول الموصل. وتناظر هذه القيمة التقدير المعروف: قيمة العزل 1000 Ω لكل ڤولط من جهد التشغيل.

$$\text{مقاومة العزل } R_i = \frac{\text{جهد التشغيل } U}{0{,}001\ A}$$

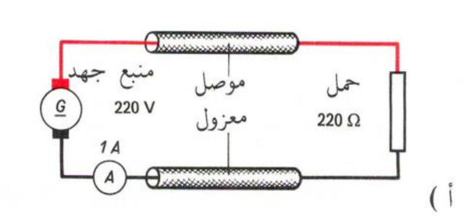
أما الموصلات العارية أو الممتدة في مواضع رطبة فتخضع لتعليمات خاصة بها، ولا يحق أن تتجاوز قيمة العزل لها 50 Ω لكل ڤولط من جهد التشغيل.

مثال: ما هو الحد الأدنى لقيمة مقاومة العزل لموصل طوله 80 m عند جهد شبكة قدره
أ) 220 V
ب) 380 V

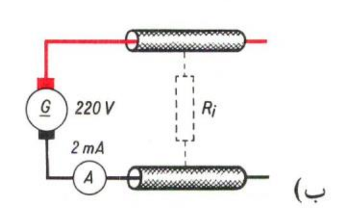
الحل:
أ) $R_i = \frac{220\ V}{0{,}001\ A} = 220\ 000\ \Omega$
ب) $R_i = \frac{380\ V}{0{,}001\ A} = 380\ 000\ \Omega$



٦٠-١ لا يجوز أن يتعدى هبوط الجهد عند موقع الربط 7,5 mV وذلك طبقا لتعليمات VDE 0609.



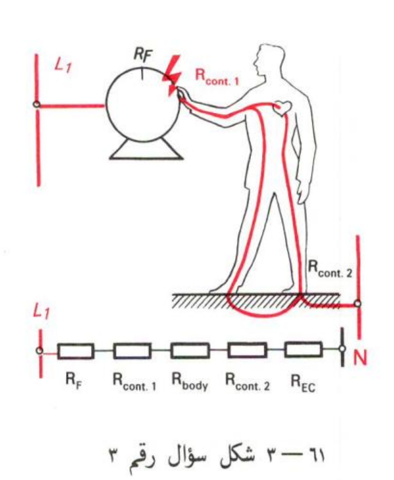
٦٠-٢ أ) دائرة كهربائية مقفلة



ب) توصيلة فيها خطأ في العزل
$R_i = 220\ V \div 0{,}002\ A = 110\ 000\ \Omega$

٦١ — ١ شكل سؤال رقم ١

٦١ — ٢ شكل سؤال رقم ٢



٦١ — ٣ شكل سؤال رقم ٣

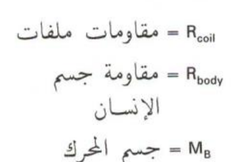
تمرينات

١ - اشرح شكل (٦١-١) واحسب التيار المار عبر جسم الإنسان عندما يكون فرق الجهد بين القطبين P و N هو 220 V وتبلغ مقاومات التلامس $R_{cont.1}$ و $R_{cont.2}$ بين الموصل واليد 15 Ω لكل منها . وكانت مقاومة الجسم $R_{body} = 3\,000\ \Omega$.

ملاحظة : يمكن أن يؤدي مرور تيار يتراوح بين 10 mA و 15 mA إلى تقلّص عضلات الإنسان ، كما يمكن أن تصاب عضلات التنفس بشلل عند مرور تيار في حدود 50 mA . أما التيارات في الحدود بين 50 mA و 100 mA والتي تمر لفترة أطول من 0,2 s فتؤدي إلى الوفاة (خفق بطين القلب) .

٢ - اشرح شكل (٦١-٢) ، إذا سرى تيار دائرة قصر قدره 500 A عن طريق كبل الأرض E_c ووصلة الأرض E (يحتاج التيار لجهد يدفعه !) .

ملاحظة : يقصد بفرق جهد الخطوة ذلك الجهد الواقع بين الأقدام في خطوة طويلة (طولها 1m) .



٣ - أ) وضح معنى شكل (٦١-٣) . ب) احسب شدة التيار المار في جسم الإنسان علما بأن مقاومة التلامس بين الملفات وجسم المحرك $R_F = 40\ \Omega$ وأن مقدار كل من $R_{cont.1}$ و $R_{cont.2}$ تبلغ 15 Ω وأن $R_{body} = 3\,000\ \Omega$ ومقاومة التلامس مع الأرض $R_{EC} = 50\ \Omega$ وفرق الجهد بين R – N هو 220 V .

٤ - اشرح شكل (٦١-٤) واحسب التيار I المار في جسم الإنسان إذا كان لم يفصل مفتاح فصل الجهد الواقي .

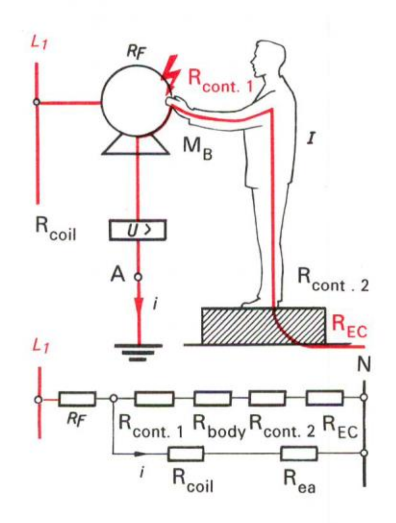
$R_{cont.1} = R_{cont.2} = 15\ \Omega,\ R_F = 40\ \Omega,\ R_{ea} = 50\ \Omega$.

$R_{body} = 3\,000\ \Omega,\ R_{EC} = 50\ \Omega,\ R_{coil} = 500\ \Omega,\ L_1 ... N = 220\ V$.

(حيث R_{coil} هي مقاومة ملفات مفتاح فصل الجهد الواقي .)

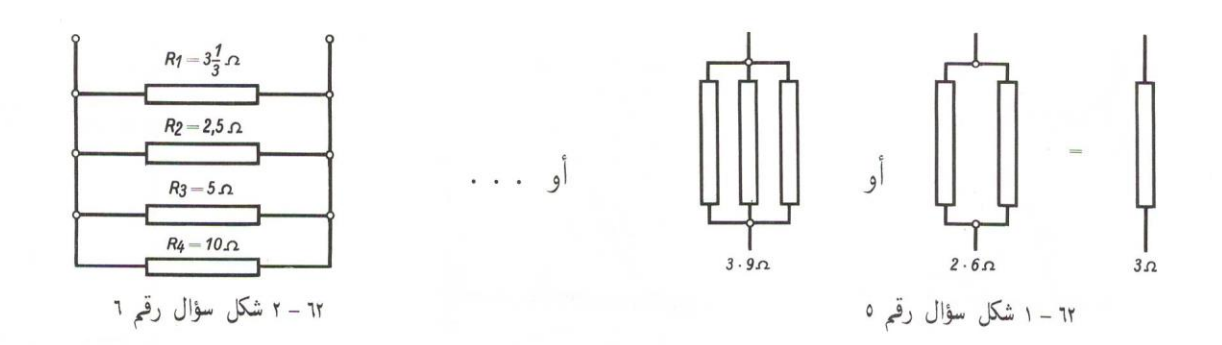
ملاحظة : ينتمي لمفتاح فصل الجهد الواقي الطرفان body = طرف جسم المحرك والطرف A = طرف وصلة الأرض المساعدة R_{ea} .

٦١ - ٤ شكل سؤال رقم ٤



٥ - أكمل الصف حتى 10 مقاومات متساوية موصلة على التوازي (شكل ٦٢-١) .

٦ - المطلوب تركيب التوصيلة في شكل (٦٢-٢) . فإذا كانت قيمة المقاومات الموجودة 10 Ω فقط ، كيف يمكن توصيل هذه المقاومات لكي نحصل على مقدار المقاومة الموضحة بشكل (٦٢-٢) ؟



٦٢ – ٢ شكل سؤال رقم ٦

٦٢ – ١ شكل سؤال رقم ٥

٧ – عند جهد شبكة قدره 380 V قيس تيار تسرب قدره 5 mA . هل تتفق قيمة العزل مع التوصيات الألمانية VDE؟

٨ – المراد ضبط جهد حمل قدره 12 V بواسطة مقاومة متغيرة (ريوستات) ، إذا تغير جهد التشغيل في الحدود من 12 V إلى 20 V . يستهلك الحمل عند جهد 12 V قدرة تبلغ 60 W . حَدِّد المقاومة المتغيرة المناسبة . (راع القيم القياسية والتفاوت وحدود التحميل !) .

٢ – ٨ هبوط الجهد في التركيبات الكهربائية

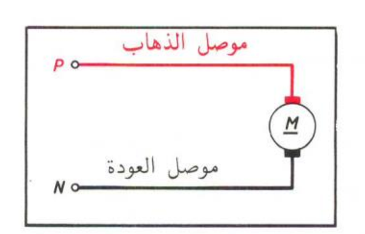
٢–٨–١ إلغاء فروق الجهد غير اللازمة بواسطة المقاومات

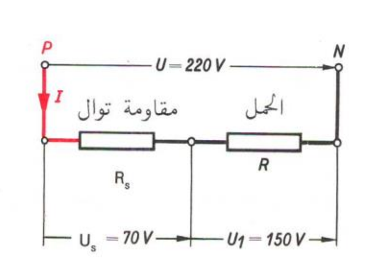
إذا اتصل حمل بشبكة جهدها أعلى من الجهد الإسمي للحمل فإنه يمكن بواسطة مقاومة حماية (مقاومة توالٍ) إلغاء فرق الجهد الزائد . فمثلا لا يمكن أن نوصل مكواة كهربائية تعمل بجهد تشغيل إسمي 150 V وتيار 4 A مباشرة على جهد شبكة قدره 220 V لأن جهد الشبكة يزيد بمقدار 220 V – 150 V = 70 V . إلا أن التوصيل يصبح ممكنا إذا وصّلت مقاومة حماية (مقاومة توال) مع المكواة لكي تلغي الجهد الزائد 70 V (شكل ٦٢–٣) . ويجب أن تكون قيمة مقاومة الحماية :

$$R_s = \frac{U_s}{I} = \frac{70\ V}{4\ A} = 17{,}5\ \Omega$$

٢–٨–٢ هبوط الجهد في الموصلات

يستهلك الجهد كذلك في شبكات التوصيل (شكل ٦٢–٤) . ولأن لخطوط التوصيل مقاومة معينة في أية منشأة كهربائية فيجب اعتبارها مستهلكة للجهد . فالجهد المستهلك في موصلات التغذية يضيع على المستهلك ، لذلك يرمز عمليا لهبوط الجهد في الموصلات بالجهد المفقود .

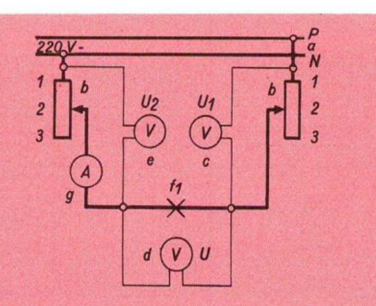


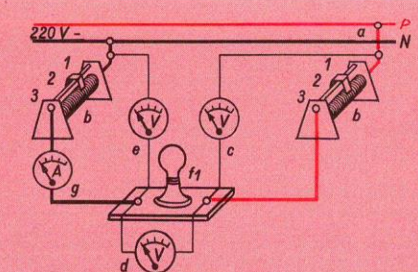


٦٢ – ٣ تلغي مقاومات التوالي جزءا من جهد الشبكة .

٦٢ – ٤ تعتبر الكبلات الموصلة للمحركات مستهلكا للجهد .

مخطط التجربة
الرسم التخطيطي للدائرة





التجربة ١٩ كلما زاد طول أسلاك التوصيل زاد هبوط الجهد

التجهيزات
a = منبع جهد
b = مقاومتان كل منهما 50 Ω
e,d,c = ڤولطمترات
f_1 = مصباح متوهج 100 W
g = أمبيرمتر

خطوات العمل :
١ - يوصل المصباح 100 W على الشبكة بواسطة موصلين قصيرين (الوضع 1) .
٢ - يزاد طول الموصلين (الوضع 2) . ولأسباب تتعلق باستغلال الحيز المتاح يستعاض عن الموصلين الطويلين بمقاومتين متغيرتين (سلك ملفوف) .
٣ - يزاد طول الموصلين مرة أخرى (الوضع 3) . ويراقب توهج المصباح في الحالات الثلاث وتقرأ الڤولطمترات الثلاثة .

القراءات :

طول الموصلات	توهج المصباح	U (V)	U_1 (V)	U_2 (V)
الوضع 1	ساطع	225	0	0
الوضع 2	أقل سطوعا	210	10	10
الوضع 3	معتم	190	20	20

في الوضع 1 يؤثر جهد المنبع الكلي على المصباح بينما في الوضع 2 يؤثر 210 V . أما في الوضع 3 فلا يؤثر على المصباح سوى 190 V .

النتيجة : يزداد هبوط الجهد بازدياد طول الموصل المستخدم .

التجربة ٢٠ كلما زاد التيار المار زاد هبوط الجهد في الموصلات .

التجهيزات : مثل التجربة (١٩) ويلزم مصباح 100 W إضافي .

خطوات العمل :
١ - يقرأ الأمبيرمتر والڤولطمتران U_1 و U_2 عند طول موصل معين (الوضع 2) وذلك عند وجود مصباح إضاءة واحد في الدائرة الكهربائية .
٢ - يوصل مصباح إضاءة آخر على التوازي مع الأول ثم تتبع الخطوة (١) .

القراءات :

طول الموصلات	عدد المصابيح	U_1 (V)	U_2 (V)	I (A)
يظل ثابتا	1	10	10	0,38
(الوضع 2)	2	20	20	0,74

النتيجة : يزداد هبوط الجهد بازدياد شدة التيار المار .

ويرمز لهبوط الجهد في الصيغ الرياضية بالرمز u على النقيض من رمز جهد الأطراف U . وقد بيّنت التجارب ١٩ و ٢٠ ما يلي :

يزداد هبوط الجهد بازدياد قيمة مقاومة الموصل وبازدياد التيار المار فيه $u=R_{cond.}\cdot I$ ، وبالتعويض بالمقدار $R_{cond.}=\frac{l}{\varkappa\cdot A}$ يكون مقدار هبوط الجهد في الموصل $u=\frac{I\cdot l}{\varkappa\cdot A}$.

وإذا كانت l تعني الطول المفرد للموصل فإننا نعوض عن ضعف الطول في تركيبات التيار المستمر (موصل التغذية وموصل العودة) .

$$u=\frac{2\cdot l\cdot I}{\varkappa\cdot A}$$

٢-٨-٣ الحدود المسموح بها لهبوط الجهد في أسلاك التوصيل

يمثل هبوط الجهد فقدا في الطاقة يضيع على المستهلك بينما يجب عليه أن يدفع ثمنه . ولا يجوز أن يتجاوز هذا الهبوط في الجهد نسبة مئوية معينة من جهد الشبكة تتراوح بين 1,5% إلى 2% لتركيبات مصابيح الإضاءة و 3% لأجهزة التدفئة الكبيرة وتتراوح بين 4% و 5% للمحركات و 0,5% في دوائر التوصيلات بالمنزل والموصلة إلى الواطمتر (العداد) . ولضمان عدم تجاوز هذه القيم في هبوط الجهد (تراعى تعليمات محطات توليد الكهرباء) ، يجب مراجعة حساب مقدار هبوط الجهد للتركيبات الكهربائية . وعادة ما يستغنى عن مراجعة الحساب لتركيبات الإضاءة والتحميل المؤقت بالأجهزة المنزلية الصغيرة ، لأن مقاومة التوصيلات وتيار التشغيل يبقيان في الحدود العادية . ويكفي عندئذ تحديد مساحة المقطع باتباع جدول التحميل VDE 0100 ، وذلك بتحديد مقدار أقصى حمل متوقع ثم استخراج مساحة المقطع اللازمة من الجدول .

ملاحظة : يعطي جدول التحميل أقل مساحات مقاطع مسموح بها . فإذا أعطت مراجعة حسابات هبوط الجهد قيما أكبر لمساحة المقطع وجب الأخذ بها . أما إذا أعطت الحسابات مساحة مقطع أقل فيؤخذ بالقيم المدرجة بالجدول .

مساحة المقطع الإسمي للموصل mm²	أقصى تيار إسمي مسموح به لمصهر في درجة حرارة الغرفة حتى 25°C — المجموعة ١ Cu/A	المجموعة ١ Al/A	المجموعة ٢ Cu/A	المجموعة ٢ Al/A	المجموعة ٣ Cu/A	المجموعة ٣ Al/A	ملاحظات
0,75	–	–	13	–	16	–	المجموعة (١) : واحد أو أكثر من الموصلات من سلك مفرد موضوعة في ماسورة ، مثلا NYA .
1	12	–	16	–	20	–	
1,5	16	–	20	–	25	–	
2,5	21	16	27	21	34	27	
4	27	21	36	29	45	35	المجموعة (٢) : موصلات من عدة أسلاك ، فعلى سبيل المثال : موصلات مكسُوَّة بعازل أسلاك بغلاف معدني ، موصلات مغلّفة بالرصاص ، موصلات توزيع التيار . موصلات متنقلة .
6	35	27	47	37	57	45	
10	48	38	65	51	78	61	
16	65	51	87	68	104	82	
25	88	69	115	90	137	107	
35	110	86	143	112	168	132	
50	140	110	178	140	210	165	المجموعة (٣) : موصلات من أسلاك مفردة ممدودة في الهواء على ألّا تقل المسافة بينها عن قيمة قطر الموصل ، كذلك الموصلات المفردة المستخدمة في التوصيلات الداخلية للأجهزة ولوحات التوزيع وقضبان التوصيل .
70	175	–	220	173	260	205	
95	210	–	265	210	310	245	

عند درجات حرارة مرتفعة للجو المحيط بالموصل	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C
يجرى خفض القيم في الجدول إلى :	94%	88%	82%	75%	67%	58%

٢-٨-٤ مراجعة حساب الهبوط في الجهد للتركيبات ذات الموصلات الطويلة.

مثال (١) : يمر تيار تحميل شدته 30 A في سلك توصيل من النحاس مساحة مقطعه $6\ mm^2$ وطوله الكلي 80 m (موصل الإمداد والعودة). ما هو مقدار الهبوط في الجهد بالڤولط ونسبته المئوية p من جهد الشبكة إذا كان U = 220 V (جهد مستمر)؟

المعطيات : $A = 6\ mm^2;\quad 2 \cdot l = 80\ m;\quad I = 30\ A;\quad U = 220\ V;\quad \varkappa = 56\ \frac{m}{\Omega\ mm^2}$

المطلوب : حساب الهبوط في الجهد (u) بالڤولط والهبوط في الجهد (p) بالنسبة المئوية.

الحل : $u = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\varkappa \cdot A} = \frac{80\ m \cdot 30\ A \cdot \Omega\ mm^2}{56\ m \cdot 6\ mm^2} = 7{,}1\ V \qquad p = \frac{100\% \cdot 7{,}1\ V}{220\ V} = 3{,}2\%$

مثال (٢) : ما هي شدة التيار الممكن تحميلها لموصل من النحاس طوله المفرد 30 m ومساحة مقطعه $1{,}5\ mm^2$ موصل على جهد مستمر قدره 220 V إذا كان هبوط الجهد المسموح به 2% من جهد الشبكة؟

المعطيات : $A = 1{,}5\ mm^2;\quad 2 \cdot l = 60\ m;\quad U = 220\ V;\quad \varkappa = 56\ \frac{m}{\Omega\ mm^2};\quad u = 4{,}4\ V$

المطلوب : حساب شدة التيار (I) بالأمبير

الحل : $I = \frac{u \cdot \varkappa \cdot A}{2\ l} = \frac{4{,}4\ V \cdot 56\ m \cdot 1{,}5\ mm^2}{60\ m \cdot \Omega \cdot mm^2} = 6{,}1\ A$

مثال (٣) : موصل تيار مستمر من النحاس طوله المفرد 35 m يسري فيه تيار شدته 20 A بجهد 220 V. أ) احسب مساحة مقطع الموصل طبقا للمجموعة (١) بجدول التحميل (راجع صفحة ٦٤). ب) راجع حساب مساحة المقطع عندما يكون هبوط الجهد المسموح به هو 3% من جهد الشبكة.

المعطيات : $U = 220\ V;\quad u = 6{,}6\ V;\quad I = 20\ A;\quad l = 35\ m;\quad \varkappa = 56\ \frac{m}{\Omega\ mm^2}$

المطلوب : ايجاد مساحة مقطع السلك (A) بوحدة (mm^2)

الحل : أ) في المجموعة (١) بجدول التحميل نجد أن مساحة المقطع المقابلة لحمل 20 A هي $2{,}5\ mm^2$.

ب) مراجعة الحساب الخاص بالهبوط في الجهد :

$$u = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\varkappa \cdot A} = \frac{2 \cdot 35\ m \cdot 20\ A \cdot \Omega \cdot mm^2}{56\ m \cdot 2{,}5\ mm^2} = 10\ V$$

لا يجوز استخدام مساحة المقطع $2{,}5\ mm^2$ وذلك لأن هبوط الجهد المسموح به هو 6,6 V فقط. لذلك يعاد الحساب بمساحة المقطع التالية في الكبر وهي $4\ mm^2$.

$$u = \frac{2 \cdot 35\ m \cdot 20\ A \cdot \Omega \cdot mm^2}{56\ \Omega \cdot 4\ mm^2} = 6{,}25\ V$$

يمكن استخدام مساحة المقطع المختارة $4\ mm^2$ وذلك لأن هبوط الجهد يقع في الحدود المسموح بها.

مثال (٤) : موصل من النحاس يغذي محركا كهربائيا يعمل بتيار مستمر قيمته 50 A. احسب مساحة مقطع الموصل إذا كان أ) l = 20 m ، U = 440 V والهبوط في الجهد u = 5% من جهد التغذية.

ب) راجع مساحة المقطع المحسوب مع القيمة المدرجة بجدول التحميل (للمجموعة ٢).

المعطيات : $U = 440\ V;\quad I = 50 A;\quad l = 20\ m;\quad u = 22\ V$

المطلوب : حساب مساحة مقطع الموصل بوحدة (mm^2)

الحل : $A = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\varkappa \cdot u} = \frac{2 \cdot 20\ m \cdot 50\ A \cdot \Omega \cdot mm^2}{56\ m \cdot 22\ V} = 1{,}4\ mm^2$

مساحة المقطع القياسية $1{,}5\ mm^2$.

إلا أننا نجد بجدول التحميل عند 50 A للمجموعة ٢ أن مساحة المقطع اللازمة تبلغ $10\ mm^2$. وتمثل هذه المساحة الحد الأدنى حسب تعليمات VDE، ولذلك يجب استخدامها.

٢-٨-٥ تحديد مساحة مقطع أسلاك التسخين وأسلاك الملفات تبعا لكثافة التيار.

لا تعين مساحة مقاطع أسلاك الملفات للمحولات والمكنات والأجهزة الكهربائية على أساس جدول التحميل بل تبعا لكثافة التيار. ويقصد بكثافة التيار S شدة التيار I التي تخص كل $1\ mm^2$ من مساحة مقطع الموصل A.

$$S = \frac{I}{A}$$

وقيم كثافة التيار (S) المستخدمة عمليا هي :

للملفات :	2 ... 6 A/mm²
لبوادئ الحركة :	5 ... 10 A/mm²
لأسلاك التسخين :	10 ... 30 A/mm²
لملفات المحولات المبرَّدة بالهواء :	2,5 ... 4 A/mm²
لملفات المغنطيس النحاسية للتشغيل المستمر :	3 A/mm²
لملفات المغنطيس النحاسية للتشغيل لفترات قصيرة :	4,5 ... 6 A/mm²

وتتوقف القيمة المختارة لكثافة التيار على طريقة التبريد وثخانة وطول ومساحة سطح الملف، إذ أنه لا بد من ضمان التبريد الكافي . وترشدنا الخبرة العملية إلى أنه لكل 1 cm² من مساحة سطح الملف ولكل 1°C من الإرتفاع في درجة الحرارة يخرج من الحرارة الناتجة من التشغيل المستمر ما يقرب من 10^{-3} W إلى $2\cdot10^{-3}$ W (معامل إخراج الحرارة) .

مثال ١ : يمكن تحميل ملف مغنطيسي بكثافة تيار : S=5 A/mm² . احسب قطر السلك اللازم ليمر به تيار شدته 20 A؟

المعطيات : $S=5\ A/mm^2;\ I=20\ A$

المطلوب : حساب قطر الموصل (d) بوحدة (mm)

الحل : $A=\frac{I}{S}=\frac{20\ A\cdot mm^2}{5\ A}=4\ mm^2;\ d=1{,}13\sqrt{A};\ d=1{,}13\sqrt{4\ mm^2};\ =2{,}26\ mm$

مثال ٢ : إحسب كثافة التيار في موصل نحاسي مساحة مقطعه أ) 1 mm² ب) 25 mm² . تستخرج شدة التيار من جدول التحميل مجموعة (١) . إشرح دلالة النتائج .

المعطيات : أ) $A=1\ mm^2;\ I=12\ A$

ب) $A=25\ mm^2;\ I=88\ A$

المطلوب : حساب كثافة التيار S بوحدة (A/mm²) .

الحل : أ) $S=\frac{I}{A}=\frac{12\ A}{1\ mm^2}=12\ A/mm^2$

ب) $S=\frac{I}{A}=\frac{88\ A}{25\ mm^2}=3{,}5\ A/mm^2$

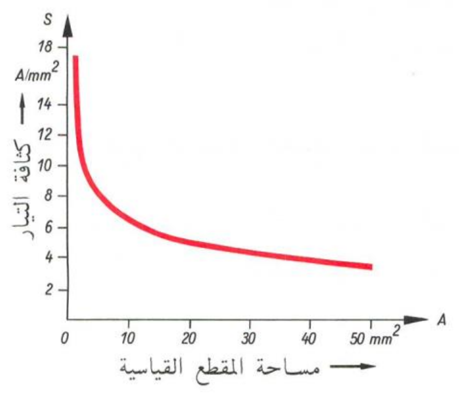
تكون كثافة التيار في السلك ذي المقطع الصغير حوالي ثلاثة أضعاف مثيلتها في السلك ذي المقطع الكبير . السبب : تحدد المساحة السطحية للسلك إخراج الحرارة . وبمقارنة مساحة المقطع بالمساحة السطحية نجد أن :

الأقطار :	$d=1{,}13\ mm$	$d=5{,}65\ mm$
مساحات المقطع :	$A=0{,}785\cdot d^2=1\ mm^2$	$A=0{,}785\cdot d^2=25\ mm^2$

المساحات السطحية لكل وحدة طول :

$A_s=d\cdot\pi\cdot l=1{,}13\ mm\cdot3{,}14\cdot1\ mm=3{,}55\ mm^2$; $A_s=d\cdot\pi\cdot l=5{,}65\ mm\cdot3{,}14\cdot1\ mm=17{,}75\ mm^2$

تقابل زيادة مساحة المقطع إلى ٢٥ ضعفا زيادة قدرها ٥ أضعاف المساحة السطحية فقط . أي أن السلك ذا مساحة المقطع الكبيرة (السلك الثخين) لا يخرج الحرارة مثل السلك الرفيع (شكل ٦٦-١) .



٦٦ - ١ العلاقة بين كثافة التيار المسموح بها ومساحة المقطع القياسية لموصل من النحاس للمجموعة 2 . كلما نقصت مساحة مقطع الموصل، أمكن زيادة كثافة التيار .

١ - ما هو الطول المفرد لموصل للتيار المستمر من النحاس مساحة مقطعه $16\ mm^2$ يحمل تيارا شدته 30 A عند هبوط في الجهد بمقدار 5% من جهد الشبكة البالغ أ) U = 220 V ب) U = 110 V؟ قارن بين القيم المحسوبة، وما هي المعلومات التي يمكن استنتاجها؟

٢ - احسب كثافة التيار لمقاطع النحاس من $1,5\ mm^2$ إلى $35\ mm^2$ للمجموعات (١) و (٢) طبقا لجدول التحميل (صفحة ٦٤).

٣ - لماذا يسمح بهبوط في الجهد يتراوح بين 1,5% و 2% فقط في تركيبات الإضاءة؟

٤ - بيّن مع التعليل في أي من الحالات التالية يمكن أن تكون كثافة التيار أكبر: ملفات ثابتة - ملفّات دوّارة - ملفّات بمقاطع كبيرة - ملفّات بمقاطع صغيرة - أسلاك بمقاطع كبيرة؟

٥ - ما هي المساحة السطحية الواجبة لملف من النحاس عند زيادة درجة حرارته بمقدار 40°C عن الجو المحيط به وتحت حمل دائم قدره 100 W، إذا بلغ معامل التوصيل الحراري $10^{-3}\ W/cm^2$؟

الوحدات الأساسية القانونية في نظام الوحدات الدولي المسمى SI – System

الوحدة الأساسية	رمز الوحدة	الكمية الأساسية
متر meter	m	الطول
كيلوغرام kilogram	kg	الكتلة
ثانية second	s	الزمن
أمبير Ampere	A	شدة التيار الكهربائي
كلفن Kelvin	K	درجة الحرارة الدينامية أو درجة حرارة كلفن
كانديلا Candela	cd	شدة الضوء

ويمكن اشتقاق كل الوحدات الأخرى من هذه الوحدات المستقلة الأساسية الست، بحيث لا توجد إلا وحدة واحدة فقط لكل كمية.

المميزات الخاصة للنظام الدولي للوحدات (SI)

- النظام الدولي SI هو نظام وحدات مطلقة، بمعنى أنه لا علاقة له بالأوضاع على الكرة الأرضية
- لا يوجد في هذا النظام أي معامل عددي يختلف عن الواحد
- الشغل والطاقة وكمية الحرارة (في الهندسة الميكانيكية والكهربائية وفي الديناميات الحرارية) هي كميات من نفس النوع ولها نفس الوحدة وهي الجول (Joule) 1 J = 1 Nm = 1 Ws.
ولذلك فلم يعد لاستخدام المكافئ الميكانيكي الحراري للتحويل 1 kcal ≈ 427 kpm أية ضرورة.

ويجوز استخدام الوحدات التالية (بعض الأمثلة) فقط خلال الفترة الإنتقالية المحددة قانونيا لذلك:
kcal (كيلوكالوري) لكمية الحرارة، grd (درجة) لفرق درجات الحرارة، p و kp (بوند وكيلوبوند) للقوة، HP (قدرة حصان) للقدرة، °K (درجة كلفن) كدرجة حرارة أو فرق درجات حرارة (انظر صفحة ٧٧). انظر كذلك صفحة (٧٩) لبعض التحويلات.

٣ الشغل - الطاقة - القدرة

٣-١ الشغل الميكانيكي

٣-١-١ الشغل الميكانيكي - شغل الرفع

يبذل الشغل الميكانيكي عند تحريك جسم تحت تأثير قوة. وهذا هو الحال عندما يرفع محرك كهربائي على سبيل المثال إلى قاعدة مرتفعة (شكل ٦٨-١).

ويتوقف الشغل المبذول W* على القوة F** اللازمة لرفع المحرك والمسافة s*** المقطوعة.

الشغل الميكانيكي = القوة × المسافة : $W = F \cdot s$

وبالتالي يزداد الشغل المبذول كلما كانت القوة المستخدمة كبيرة والمسافة المقطوعة طويلة.

- وحدة SI المشتقة للشغل هي جول (نسبة إلى العالم الفيزيائي الإنكليزي جول، ١٨١٨-١٨٨٩). ويساوي 1 Joule الشغل المبذول عند تحريك نقطة تأثير قوة مقدارها نيوتن واحد مسافة 1 m في اتجاه القوة (راجع جدول التحويل ٧٩-٢).

وحدات SI أخرى مشتقة : $1\,J = \frac{1\,kgm^2}{s^2} = 1\,Nm = 1\,Ws$

ووحدة SI المشتقة للقوة هي نيوتن (N) (نسبة إلى العالم الفيزيائي الإنكليزي نيوتن، ١٦٤٣-١٧٢٧).

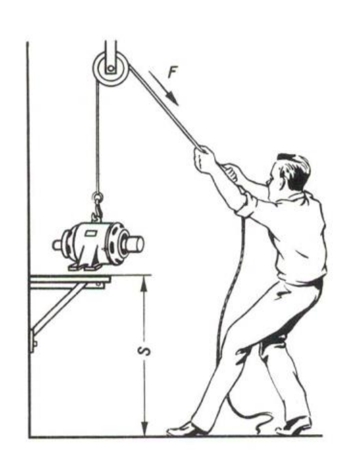
- ويساوي 1 N القوة اللازمة لتحريك جسم كتلته 1 kg بعجلة مقدارها $1\,m/s^2$ (راجع جدول التحويل ٧٩-١).

مثال ١ : ما هو شغل الرفع اللازم لرفع محرك (شكل ٦٨-١) كتلته $m = 35\,kg$ لارتفاع قدره $s = 2\,m$؟ عند الرفع لأعلى تساوي القوة المبذولة كتلة المحرك مضروبة في معامل التحويل $1\,kg \triangleq 9{,}81\,N$ (وجدول ٧٩-١).

المعطيات : $m = 35\,kg;\ s = 2\,m;\ 1\,kg \triangleq 9{,}81\,N$

المطلوب : حساب شغل الرفع المبذول W بوحدة (Nm)

الحل : $W = F \cdot s = 35\,kg \cdot \frac{9{,}81\,N}{kg} \cdot 2\,m = 686{,}7\,Nm = 686{,}7\,Ws$



٦٨ - ١
يبذل شغل ميكانيكي عند رفع محرك.

وإذا لم يتم تحريك المحرك عموديا إلى أعلى بل لمسافة أطول (على مستوى مائل مثلا) إلى ارتفاع 2 m فلا يتغير مقدار شغل الرفع لأن العبرة بالمسافة الرأسية التي يرتفعها المحرك وليس بالمسافة المائلة.

ملاحظة : لا يتوقف شغل الرفع W على المسافة التي يقطعها المحرك ليرتفع من مكان إلى آخر بل يتوقف فقط على القوة المبذولة وعلى فارق الإرتفاع s.

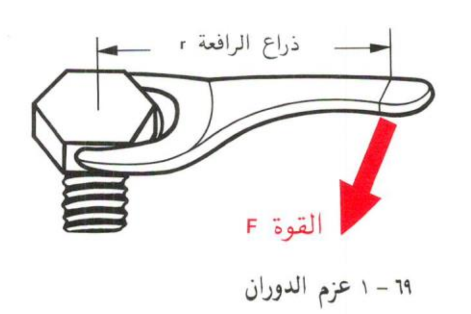
* شغل = Work (انكليزي)، ** قوة = Force (انكليزي)، *** مسافة = Spatium (لاتيني).

مثال ٢ : ما هو الشغل اللازم بذله لشد حافظة مرحّل بقوة قدرها 0,28 N إذا بلغ طول مسافة التحرك 1,1 mm؟

المعطيات : $F=0,28\ N;\ s=1,1\ mm=0,0011\ m$

المطلوب : الشغل اللازم بذله W بوحدة (Nm)

الحل : $W=F\cdot s=0,28\ N\cdot 0,0011\ m=30,8\cdot 10^{-5}\ Nm$



٦٩ - ١ عزم الدوران

٣-٢ عزم الدوران

لو أثرت قوة على جسم ما تأثيرا إلتوائيا فإن هذه القوة تنتج عزما دورانيا. ويزداد عزم الدوران M كلما كبرت القوة F وكبرت المسافة العمودية بين خط تأثير القوة ومركز الدوران (ذراع الدوران r) (شكل ٦٩-١)

$$M=F\cdot r$$

مثال ١ : طبقا لتعليمات التجميع لا يجوز تثبيت ثايريستور إلا بعزم دوران مقداره 100 Nm على جسم التبريد التابع له. ما هي القوة اللازمة لإدارة مفتاح الربط إذا بلغ طول ذراع المفتاح 0,25 m؟

المعطيات : $M=100\ Nm;\ r=0,25\ m$

المطلوب : القوة اللازمة F بوحدة (N)

الحل : $F=\frac{M}{r}=\frac{100\ Nm}{0,25\ m}=400\ N$

مثال ٢ : ما هو عزم الدوران اللازم لفك وصلة ملولبة بمفتاح ربط طول ذراعه 0,2 m إذا كانت القوة اللازمة للفك هي 200 N؟

المعطيات : $r=0,2\ m;\ F=200\ N$

المطلوب : حساب عزم الدوران M بوحدة (Nm).

الحل : $M=F\cdot r=200\ N\cdot 0,2\ m=40\ Nm$

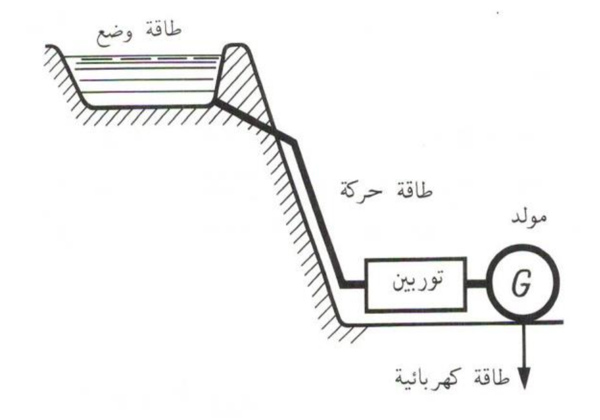
٣-٣ الطاقة

٣-٣-١ طاقة الوضع - طاقة الحركة

عند رفع مدك كتلته m لارتفاع مُعيّن h فإن شغل الرفع اللازم هو $W=m\cdot h$. وعند سقوط المدك فإنه يبذل شغلا، وذلك مثل أن يدق كمرة فولاذية في الأرض. وكمية الشغل هذه كان قد جرى اختزانها في المدك أثناء رفعه.

- مقدرة جسم ما لبذل شغل تسمى طاقة.
- يمكن اختزان الشغل.
- الشغل المختزن يسمى طاقة الوضع.
- يمكن تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركة (شكل ٧٠-١).
- الطاقة والشغل هما كميتان من نفس النوع ولهما نفس وحدة SI المشتقة وهي الجول (جدول التحويل ٧٩-٢). $1\ J=1\ Nm=1\ Ws$.

وحدة الطاقة في الفيزياء الذرية هي الإلكترون ڤولط (رمز الوحدة eV). إذ أن 1 eV هي الطاقة التي يكتسبها إلكترون نتيجة اجتيازه فرق جهد يبلغ 1 V في الفراغ.



٧٠ - ١ تحويل الطاقة

٣-٣-٢ تحويل الطاقة

توجد الطاقة على أشكال مختلفة منها: طاقة ميكانيكية (رفع كتلة مدك، زنبرك مشدود، وهكذا) البنزين والزيت يحتويان على الطاقة الكيميائية، شبكات الإضاءة والقدرة الكهربائية تزودنا بالطاقة الكهربائية والمغنطيسية.

٣-٣-٢-١ تحويل الطاقة من شكل لآخر

يستفاد من طاقة حركة سقوط المياه في محطات توليد الكهرباء بالقوة المائية في التحريك الميكانيكي للتوربينات وما يرتبط بها من مولدات كهربائية. ويُحوِّل المولّد الكهربائي الطاقة الميكانيكية المحرِّكة له إلى طاقة كهربائية (شكل ٧٠-١)، بينما يقوم المحرك الكهربائي بتحويل الطاقة الكهربائية المعطاة له إلى طاقة ميكانيكية.

وتحوِّل المزدوجات الحرارية الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية، وتحوِّل الخلايا الضوئية الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية. كما تقوم أفران التسخين بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

والطاقة النووية هي أخطر أنواع الطاقة إذ إنها طاقة نوى الذرات أي القوة الرابطة للمكونات الصغرى للكتلة (القنبلة الذرية - المفاعلات الذرية).

٣-٣-٣ الاستفادة من تحويل الطاقة

تصاحب جميع تحويلات الطاقة حركة أو احتكاك... إلخ. فمقدار الطاقة الكهربائية المعطاة للمحرك الكهربائي تكون أكبر من الطاقة الميكانيكية المستفادة منه لأن هناك جزءاً من الطاقة المعطاة يضيع في الاحتكاك بالمحامل وغيرها ويتحول إلى طاقة حرارية عديمة الفائدة. ويقتصر المقدار الفعال من الطاقة القابل للإستخدام على القدر من الطاقة الميكانيكية المستفادة على بكرة السير الدائرة. وبصفة أساسية يحدث فقد طاقة بالإحتكاك في الآلات الكهربائية (بالمحامل وبالهواء المقاوم لدوران عضو الإنتاج)، وفقد طاقة في الموصلات (تسخين الملفات وخلافه)، وكذلك فقد طاقة في الحديد (التيارات الدوامية وتيارات المغنطة).

٣-٣-٤ العلاقة بين الفقد في الآلة وكفايتها

إذا رمزنا للشغل (للطاقة) المغذي لمحرك أو أي جهاز بالرمز W_1 وللشغل الخارج الذي يستفاد به بالرمز W_2، فإن الفرق بينهما W_1-W_2 يمثل الفقد في الطاقة. وتسمى النسبة بين W_1 و W_2 بالكفاية ويرمز لها بالرمز η (الحرف الأبجدي اليوناني الصغير إيتا eta) وتكون η دائمًا أقل من الواحد الصحيح.

$$\eta = \frac{W_2}{W_1}$$

وتدل الكفاية في الآلات على النسبة بين قدرة الخرج (المستفادة) P_2 وقدرة الدخل (المعطاة) P_1. وهذه الدلالة مقبولة بشرط ألا يختزن شغل أو يستفاد بشغل مختزن خلال فترة المراقبة.

الكفاية = القدرة المستفادة / القدرة المعطاة

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

وجدير بالملاحظة أن لوحة القدرة لمكنة كهربائية تسجل دائما القدرة المستفادة منها. وتعطى هذه القدرة في الهندسة الكهربائية دائما بالواط W (Watt) أو بالكيلوواط kW (kilowatt)، فالمحرك ذو قدرة 2 kW يعطي قدرة ميكانيكية مقدارها 2 kW عند بكرة السير.

وبصفة عامة تكون كفاية الأجهزة والمكنات الكهربائية عالية جدا. وتبلغ كفاية المحركات الصغيرة نحو 70% والمتوسطة 80% والكبيرة (عدة مئات كيلوواط) 90%. وتبلغ الكفاية في المحولات الكهربائية 95%. أما أجهزة الراديو ومصابيح الإضاءة فكفايتها رديئة (1,5%).

مثال: إذا كانت القدرة المغذية لجهاز راديو 80 W، والقدرة الصوتية الخارجية هي 1 W، احسب الكفاية.

المعطيات: $P_2 = 1\ W;\ P_1 = 80\ W$

المطلوب: حساب الكفاية η بالنسبة المئوية

الحل: $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1\ W}{80\ W} = 0{,}0125 \mathrel{\hat{=}} 1{,}25\%$

تمرينات

١ – اذكر ستة أمثلة على الأقل للطاقة الميكانيكية والكيميائية والكهربائية وأساليب تحويلها.

٢ – ما هو تحوُّل الطاقة الذي يحدث في المراكم (البطاريات)؟

٣ – اشرح لماذا لا يمكن أن تتجاوز الكفاية الواحد الصحيح؟

٤ – اشرح كيف يمكن تحديد كفاية المسخِّن الغاطس.

٣–٤ القدرة الميكانيكية

إذا احتاج عامل كهربائي «أ» لزمن قدره 2 min لحمل بكرة سلك نحاسي كتلتها 40 kg لارتفاع طابقين (فرق الإرتفاع s=12 m) واحتاج عامل كهربائي آخر «ب» لزمن قدره 4 min لأداء نفس العمل، فيقال إن قدرة (استطاعة) العامل الأول «أ» أكبر من قدرة العامل الثاني «ب».

رغم أن كلا العاملين قد بذلا نفس الشغل $W = F \cdot s = 40\ kg \cdot 9{,}81 N/kg \cdot 12\ m = 4\ 708\ Nm$، إلا أن الزمن المستغرق في بذل الشغل مختلف. ولكي نستطيع تقييم هذه القدرة لا بد لنا من مقارنة الشغل المبذول خلال زمن معين.

ويمكننا الحصول على القدرة P بقسمة مقدار الشغل المبذول W على الزمن المستغرق في بذله t.

القدرة الميكانيكية = الشغل الميكانيكي / الزمن

$$P = \frac{W}{t}$$ أو $$P = \frac{F \cdot s}{t}$$

ومن الفيزياء نعرف أن السرعة = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$ $(v=\frac{s}{t})$ ومنها ينتج أن :

$$P=F\cdot v$$

والوحدة الدولية المشتقة للقدرة هي واط Watt (ورمزها W)

ويُعرَّف الواط بأنه مقدار القدرة المعادلة لبذل شغل قدره جول واحد (1 J) في زمن قدره ثانية واحدة (1 s) (راجع جدول التحويل ٧٩–٣) . $1\ W=1\ Nm/s=1\ J/s$.

مثال ١ : ما هي قدرة كل من العاملين الكهربائيين المذكورين في صفحة (٧١ ب) إذا أخذنا القيم المذكورة في الاعتبار؟

المعطيات : العامل الأول «أ» : $W=4\,708,\ t=2\ min$

العامل الثاني «ب» : $W=4\,708,\ t=4\ min$

المطلوب : ايجاد القدرة P بوحدة (W) .

الحل : «أ» : $P=\frac{W}{t}=\frac{4\,708\ Nm}{120\ s}=39\ \frac{Nm}{s}=39\ W$

«ب» : $P=\frac{W}{t}=\frac{4\,708\ Nm}{240\ s}=19{,}5\ \frac{Nm}{s}=19{,}5\ W$

مثال ٢ : ما هي قدرة مصعد كهربائي يرفع حملا تبلغ كتلته $m=300\ kg$ لارتفاع قدره 20 m في زمن قدره 15 s (الكيلوجرام يعادل نحو 10 N) .

المعطيات : $F=3\,000\ N;\ s=20\ m;\ t=15\ s$

المطلوب : ايجاد القدرة P بوحدة (W) .

الحل : $P=\frac{W}{t}=\frac{F\cdot s}{t}=\frac{3\,000\ N\cdot 20m}{15\ s}=4\,000\ \frac{Nm}{s}=4\,000\ W=4\ kW$

تمرينات

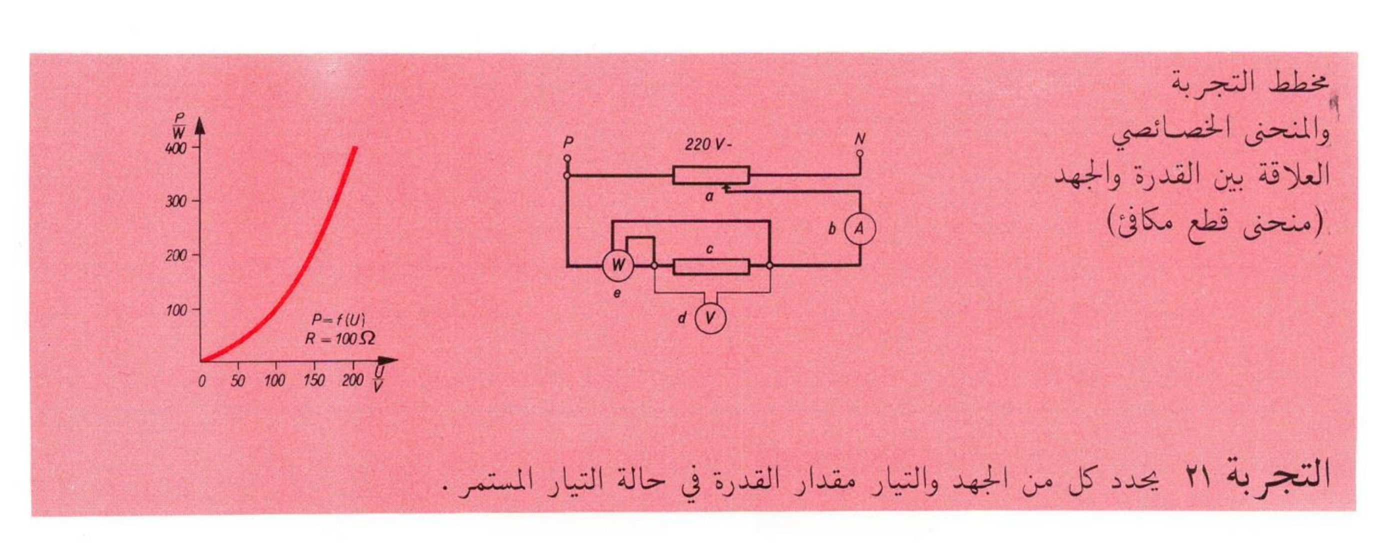
١ – احسب الشغل والقدرة لمضخة قامت بضخ $2\ m^3$ من المياه لارتفاع 15 m في زمن قدره 0,5 h .

٢ – وضّح معنى الشغل الميكانيكي والقدرة الميكانيكية بمثال .

٣–٥ قدرة التيار الكهربائي المستمر

الوحدة الدولية المشتقة للقدرة P هي الواط Watt (ورمزها W) $1\ W=1\ J/s=1\ Nm/s$ (انظر جدول التحويل ٧٩–٣) .

٣–٥–١ تجربة القدرة الكهربائية



التجربة ٢١ يحدد كل من الجهد والتيار مقدار القدرة في حالة التيار المستمر .

التجهيزات : a = مجزّئ جهد
b = أمبيرمتر
c = مقاومة $R = 100\ \Omega$
d = ڤولطمتر
e = واطمتر

خطوات العمل : إضبط الجهد $U = 50\ V$ باستخدام مجزّئ الجهد واقرأ كلا من U و I و P ودوّنها في جدول. كرر القياسات باستخدام قيم الجهد (U) : 100 V و 150 V و 200 V . ارسم القدرة كدالة للجهد U : $P = f(U)$.

القراءات :

U (V)	I (A)	P (W)
50	0,5	25
100	1,0	100
150	1,5	225
200	2,0	400

النتيجة : القدرة P المستهلكة في المقاومة هي عبارة عن حاصل ضرب الجهد U في التيار I، المقاسة في كل حالة من حالات القياس.

تبعا للتجربة (٢١) نجد أن : القدرة = الجهد × التيار

$$P = U \cdot I$$

وبالتعويض طبقا لقانون أوم عن U بالمقدار $I \cdot R$، وعن I بالمقدار $\frac{U}{R}$ نحصل على :

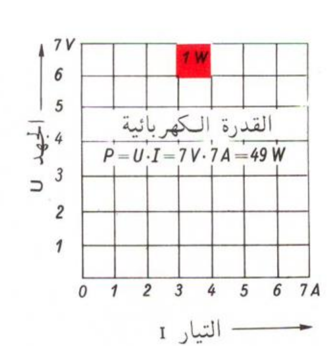
$$P = \frac{U^2}{R} \qquad P = I^2 \cdot R$$

مثال ١ : ما هي القدرة المستهلكة في مقاومة موصلة بجهد قدره 220 V يمر فيها تيار شدته 0,25 A؟
المعطيات : $I = 0{,}25\ A,\ U = 220\ V$
المطلوب : حساب القدرة (P) بالواط.
الحل : $P = U \cdot I = 220\ V \cdot 0{,}25\ A = 55\ W$

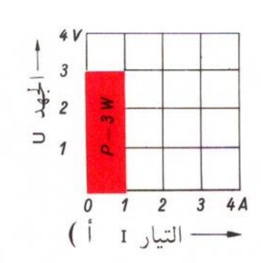
مثال ٢ : احسب القدرة المستهلكة في مقاومة تسخين قدرها 1,5 kΩ موصلة بجهد قدره 100 V .
المعطيات : $R = 1{,}5\ k\Omega = 1500\ \Omega,\ U = 100\ V$
المطلوب : حساب القدرة (P) بالواط
الحل : $P = \frac{U^2}{R} = \frac{100\ V \cdot 100\ V}{1500\ \Omega} = 6{,}66\ W$

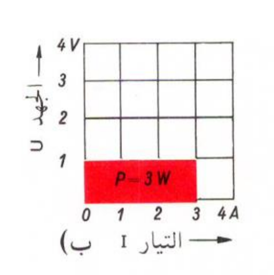
مثال ٣ : نشأت مقاومة تلامس قدرها $R = 1\ \Omega$ نتيجة لبرم موصلين مع بعضهما.
ما هي القدرة المتحولة إلى حرارة إذا بلغ التيار المار $I = 10\ A$؟
المعطيات : $R = 1\ \Omega;\ I = 10\ A$
المطلوب : حساب القدرة (P) بالواط
الحل : $P = I^2 \cdot R = 100\ A^2 \cdot 1\ \Omega = 100\ W$

٧٣ – ١ يكتب كل من الجهد الإسمي والقدرة على لوحات القدرة للآلات والأجهزة الكهربائية أو على قاعدة أو زجاجة مصباح الإضاءة.



٧٤ - ١ يمكن تمثيل القدرة الكهربائية بيانيا كمساحة .





٧٤ - ٢ أ ، ب شكلا الأسئلة ١ - ٣ .

تمرينات

١ - اشرح ما هو مبين في الرسوم البيانية ٧٤-٢ (أ) و (ب) .
٢ - ارسم رسما بيانيا بمضاعفة قيمة كل من الجهد والتيار المبينة في شكل ٧٤-٢ (ب) .
٣ - قارن شكل ٧٤-٢ (ب) بالرسم البياني في السؤال رقم (٢) . كم مرة تتضاعف القدرة؟ أعط تعليلا لإجابتك؟
٤ - كم مرة تتضاعف القدرة المستهلكة في مقاومة ما إذا تضاعف الجهد؟
٥ - ما هي النسبة المئوية لانخفاض القدرة المستهلكة ، إذا انخفض التيار المار في مقاومة ما إلى النصف؟

٣-٦ الشغل الكهربائي

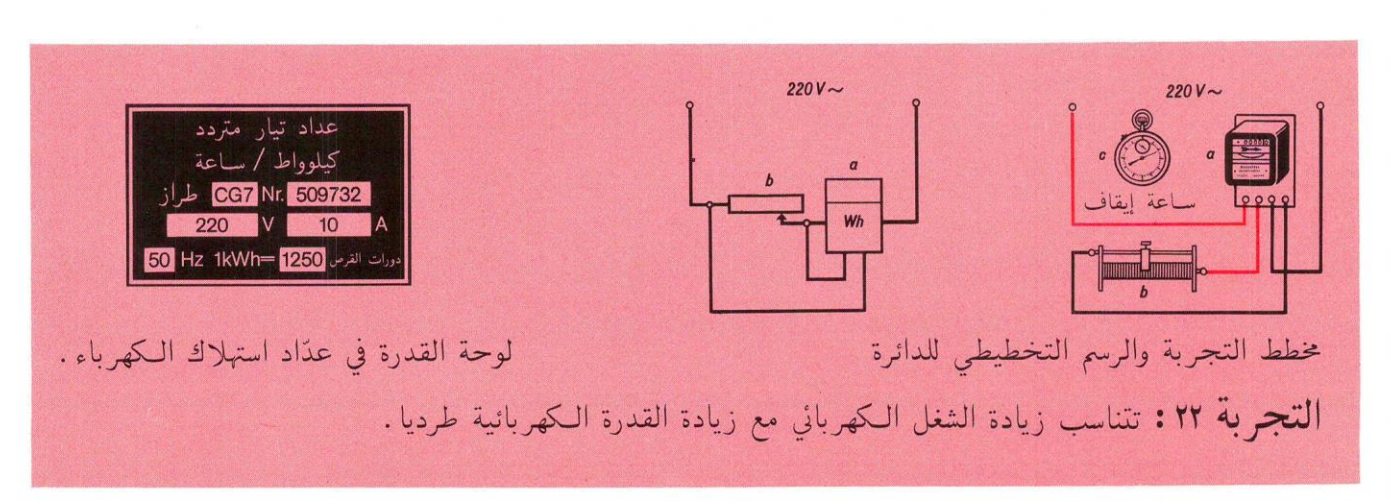
٣-٦-١ التيار الكهربائي والشغل

يمكن توليد الحرارة بالشغل ، فيمكن مثلا أن تسخن قطعتان من الخشب بحكها معا باستمرار ، وبذلك تتولد حرارة ناتجة من الشغل الميكانيكي المبذول . وكذلك يسخن سلك موصل عندما يمر به تيار كهربائي . ولما كان توليد الحرارة يتطلب بذل شغل ، فإننا نستطيع القول بأن التيار الكهربائي قد بذل شغلا .

لا بد من دفع ثمن الشغل الكهربائي المبذول ، وتقوم عدادات الطاقة الكهربائية ببيان كمية الطاقة المستهلكة .

والوحدة الدولية المشتقة للشغل الكهربائي W هي الجول (J) Joule ، انظر صفحة (٦٨) . (جدول التحويل ٧٩-٢) 1 J = 1 Nm = 1 Ws . وفي الحياة العملية يتم الحساب بوحدة الواط ثانية Ws .

٣-٦-٢ العلاقة بين القدرة الكهربائية P والشغل الكهربائي W



مخطط التجربة والرسم التخطيطي للدائرة

لوحة القدرة في عدّاد استهلاك الكهرباء .

التجربة ٢٢ : تتناسب زيادة الشغل الكهربائي مع زيادة القدرة الكهربائية طرديا .

التجهيزات : a = عداد استهلاك القدرة الكهربائية

b = أحمال 800 W, 600 W, 400 W, 200 W

c = ساعة ايقاف

خطوات العمل : ١ – توصيل الأحمال 200 W و 400 W و 600 W و 800 W الواحد تلو الآخر مع الشبكة عن طريق العداد . يقرأ عداد الاستهلاك بعد مرور زمن قدره 6 min .

٢ – يوصل الحمل 800 W وتأخذ قراءة العداد كل 6 min .

القراءات :

القدرة P (W)	قراءة العداد kWh البداية	قراءة العداد kWh النهاية	زمن التشغيل t (h)	الشغل المستهلك W (kWh)
200	0,00	0,02	0,1	0,02
400	0,02	0,06	0,1	0,04
600	0,06	0,12	0,1	0,06
800	0,12	0,20	0,1	0,08

عند مضاعفة القدرة تتضاعف كذلك كمية الشغل المستهلك ، وهكذا .

القدرة P (W)	قراءة العداد kWh البداية	قراءة العداد kWh النهاية	زمن التشغيل t (h)	الشغل المستهلك W (kWh)
800	0,00	0,08	0,1	0,08
800	0,08	0,16	0,2	0,16
800	0,16	0,24	0,3	0,24
800	0,24	0,32	0,4	0,32

تتضاعف كمية الشغل المستهلك بمضاعفة زمن التشغيل عند ثبات القدرة ، وهكذا .

النتيجة : يزداد الشغل الكهربائي المستهلك بقدر يتناسب مع زيادة القدرة الكهربائية $W \sim P$.

يزداد الشغل الكهربائي المستهلك بقدر يتناسب مع زيادة زمن التشغيل $W \sim t$.

ملاحظة : يزداد الشغل الكهربائي المستهلك W بقدر يتناسب مع زيادة كل من القدرة P وزمن التشغيل t .

$$W = P \cdot t$$

$$W = U \cdot I \cdot t$$

يزداد الشغل المبذول بواسطة آلة ما بازدياد قدرة الآلة وزيادة زمن التشغيل .

مثال : يجري تشغيل كاوية لحام بالقصدير قدرتها 150 W بمعدل أربع ساعات يوميا . ما هو الشغل الكهربائي الذي يبينه عداد الكهرباء في شهر؟

المعطيات : $t = 30 \cdot 4\ h;\ P = 150\ W$

المطلوب : حساب الشغل الكهربائي (kWh) بوحدة كيلوواط ساعة

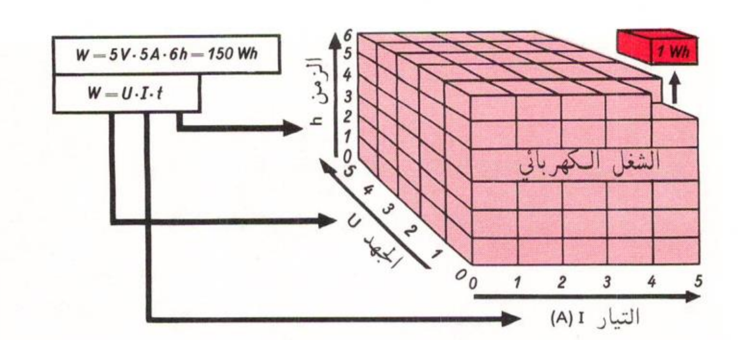
الحل : $W = P \cdot t = 0{,}15\ kW \cdot 30 \cdot 4\ h = 18\ kWh$

٣–٦–٣ الشغل اللازم لتحريك إلكترون

لكل إلكترون شحنة كهربائية سالبة تعطى بوحدة الكولوم Coulomb (C) . تسمى شحنة الإلكترون بالشحنة الأولية وتبلغ قيمتها : $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$.

وكما هو معروف من قبل فإن الإلكترون يتجاذب مع الشحنات الموجبة ويتنافر مع الشحنات السالبة . ويلزم بذل شغل لتحريك الإلكترون من موقع إلى آخر ذي جهد سالب بالنسبة للموقع الأول ، ويكون مقدار هذا الشغل المبذول كبيرا كلما كان فرق الجهد المضاد لحركة الإلكترون كبيرا (شكل ١٩–٢) .

٧٦ - ١ تمثيل الشغل الكهربائي بالرسم.



عند توليد جهد كهربائي يجري تحريك الشحنات الأولية السالبة ضد قوة جذب الشحنات الموجبة. ويعني فصل الشحنات الكهربائية تخزين كمية شغل (طاقة كهربائية)، وعند جهد قيمته 1V، تبلغ الطاقة لكل وحدة شحنات 1 Nm = 1 Ws.

وفي الفيزياء النووية يستخدم الإلكترون - ڤولط (eV) كوحدة للشغل الكهربائي. والإلكترون - ڤولط هو مقدار الشغل اللازم لتحريك إلكترون من موقع إلى آخر ذي جهد سالب قدره 1V بالنسبة للموقع الأول.

إلكترون ڤولط = شحنة إلكترون × ڤولط واحد 1 eV = electron charge · 1 V.

ميجا إلكترون ڤولط = 1 Megaelectron-volt (MeV) = $6{,}3 \cdot 10^{-12}$ Ws.

٣-٦-٤ الاختبار العملي للقدرة الكهربائية المستهلكة لجهاز ما بواسطة العداد الكهربائي

إذا أردنا تحديد أو اختبار القدرة الكهربائية لجهاز ما، وهو أمر مطلوب في كثير من الأحيان، فلا يحتاج الأمر سوى لتعيين عدد الدورات n للقرص الدوّار في العداد الكهربائي في زمن معين t. فإذا ما قرأنا العدد C_c (ثابت العداد) المدوّن على لوحة القدرة لأي عدد بالإضافة إلى ذلك، والذي يدل على عدد دورات القرص لكل 1 kWh، لحصلنا على القدرة طبقا للعلاقة التالية:

$$P = \frac{60 \cdot n}{t \cdot C_c}$$

الوحدات: P (kW); t (min).

مثال: احسب القدرة التي يستهلكها مسخن كهربائي غاطس إذا كان الجهد 220 V. ما هي قيمة التيار المار في التوصيلة، إذا دار قرص العداد 30 دورة في زمن قدره 3 min وكانت بيانات العداد هي واحد كيلوواط ساعة (1 kWh) = 1200 دورة؟

المعطيات: 1 kWh ≙ 1200 دورة; t = 3 min; n = 30; U = 220 V

المطلوب: حساب القدرة P بوحدة kW والتيار I بوحدة (A)

الحل: $P = \frac{60 \cdot n}{t \cdot C_c} = \frac{60 \cdot 30}{3 \cdot 1200} = 0{,}5\ \text{kW};\ I = \frac{P}{U} = \frac{500\ \text{W}}{220\ \text{V}} = 2{,}27\ \text{A}$

تمرينات

١ - اشرح مع التعليل حسابيا، ماذا يحدث إذا وصّلنا مصباحي إضاءة 100 W/100 V, 25 W/110 V على التوالي بجهد قدره 220 V؟

٢ - مقاومة قيمتها 5 kΩ يمكن تحميلها حتى 0,5 W ما هي قيمة التيار المار بها؟

٣ - إذا دار القرص الدوّار في عداد كهربائي 10 دورات في 3 دقائق، احسب:
أ) القدرة المستهلكة، إذا كانت كل 600 دورة تكافئ 1 kWh.
ب) تكاليف التشغيل في الساعة، إذا كان سعر الكيلوواط ساعة سبع هللات.

٤ - جهاز راديو يستهلك من القدرة 80 W ، ما هو عدد ساعات تشغيل الجهاز في الشهر إذا كان سعر الكيلوواط ساعة هو سبع هللات على ألّا يتجاوز المبلغ المقرر للتشغيل الشهري ثلاثة ريالات؟

٣-٧ الشغل الحراري - كمية الحرارة

٣-٧-١ الحرارة

لقد أثبت العلم أن جزيئات المادة الجامدة تهتز بدرجة أكثر إذا ما زُوِّدت بطاقة ميكانيكية عن طريق الاحتكاك مثلا . وكلما زادت طاقة الحركة (الحركة الحرارية) للجزيئات ازدادت سخونة الماء .

ملاحظة : الحرارة هي صورة من صور الطاقة

٣-٧-٢ درجة الحرارة

تتحدد الحالة الحرارية للمادة بدرجة حرارتها ، بمعنى أن درجة الحرارة تعتمد على الطاقة الحرارية ولكنها ليست متطابقة معها .

ودرجة الحرارة الديناميكية أو درجة حرارة كلفن (التي كانت تسمى حتى الآن درجة الحرارة المطلقة) هي كمية أساسية في النظام الدولي للوحدات SI ووحدتها الأساسية هي كلفن (ورمزها K) نسبة إلى لورد كلفن الفيزيائي الإنكليزي (١٨٢٤-١٩٠٨) . ويسمح باستخدام درجة الحرارة المئوية ورمزها °C (Degree Centigrade) كوحدة أخرى ويبدأ التدريج الدولي لدرجة الحرارة بنقطة الصفر المطلق في الديناميكا الحرارية 273,15 °C - وتقابل درجة الصفر في التدريج المئوي ، درجة الحرارة الديناميكية الحرارية $T_0 = 273{,}15\ K$ شكل (٧٧-١) . ويحسب فرق درجات الحرارة المئوية من الصيغة الرياضية :

$$t = T - T_0$$

مثال :

المعطيات : $T = 300{,}15\ K$

المطلوب : حساب الفرق في درجة الحرارة (t) بوحدة درجة مئوية (°C)؟

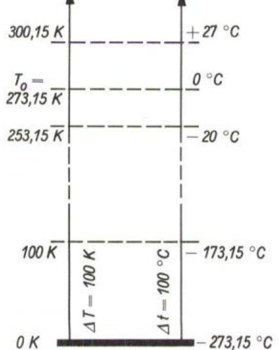
الحل : $t = 300{,}15\ K - 273{,}15\ K = +27°C$

- تكون الفروق في درجات الحرارة على التدريجين متساوية (شكل ٧٧-١) .

مثال : $\Delta T = \Delta t = 100\ K = 100°C$

- يعطى الفرق في درجات الحرارة بوحدات K .
- تختلف درجات الحرارة على التدريجين .

ولو أن أقسام التدريجين متساوية 1 K = 1 C ، إلا أن درجة الحرارة 1 K على تدريج كلفن تقابل درجة الحرارة 272,15°C - على التدريج المئوي ، أي أن : (1 K ≙ -272,15°C) ، أو درجة الحرارة 300,15 K ≙ +27°C (27°C+ ليست 27 K) .



٧٧ - ١ تدريج كلفن وتدريج درجة الحرارة المئوية .

٣-٧-٣ كمية الحرارة - السعة الحرارية النوعية

ملاحظة : الشغل والطاقة وكمية الحرارة هي كميات من نوع واحد ولها نفس الوحدة الدولية المشتقة وهي الجول (1J) .

والوحدات الأخرى هي : 1 J = 1 Nm = 1 Ws . (وفي الحياة العملية يتم الحساب باستخدام Ws) . ويصبح على هذا الأساس إستخدام المكافئ الميكانيكي الحراري 1 kcal ≙ 427 kpm لا مبرر له (انظر جدول التحويل ٧٩-٢) .

٣-٧-٣-١ الطاقة الحرارية

تسمى الطاقة الحرارية الموجودة في مادة ما ، أو المعطاة عند التسخين أو المسحوبة عند التبريد ، بكمية الحرارة Q .

٣-٧-٣-٢ السعة الحرارية - السعة الحرارية النوعية

المقصود بالسعة الحرارية هو قابلية المادة لتخزين ما يضاف إليها من كمية حرارة .
السعة الحرارية النوعية : لقد ثبت بالتجارب أن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كتلة من مادة ما قدرها m = 1 kg درجة مئوية واحدة (1°C) تختلف من مادة لأخرى (جدول ٧٨-١) .

٧٨ — ١ القيم المدرجة بالجدول صحيحة عند 20°C
المجموعة ١ : الكتلة بالجرام
المجموعة ٢ : الكتلة بالكيلوجرام
المجموعة ٣ : القيم القديمة المستخدمة لغاية ١٩٧٤

المادة	السعة الحرارية النوعية c (١) $\frac{Ws}{g \cdot °C}$	(٢) $\frac{Ws}{kg \cdot °C}$	(٣) $\frac{kcal}{kg \cdot °C}$
ألومنيوم	0,92	$0{,}92 \cdot 10^3$	0,22
رصاص	0,13	$0{,}13 \cdot 10^3$	0,031
ثلج عند 0°C	2,14	$2{,}14 \cdot 10^3$	0,5
زجاج	0,83	$0{,}83 \cdot 10^3$	0,2
نحاس	0,39	$0{,}39 \cdot 10^3$	0,093
فولاذ	0,46	$0{,}46 \cdot 10^3$	0,11
ماء	4,18	$4{,}18 \cdot 10^3$	1,0

ملاحظة : تسمى كمية الحرارة اللازمة لتسخين كتلة 1 kg لمادة ما بمقدار 1°C بالسعة الحرارية النوعية (c) ، وقد سمّيت سابقا : الحرارة النوعية .

وللماء أعلى سعة حرارية نوعية : $c = 4{,}18 \cdot 10^3 \frac{Ws}{kg \cdot °C}$ ، وعلى النقيض من ذلك فإنه لتسخين 1 kg من النحاس بمقدار 1°C يلزم $0{,}39 \cdot 10^3$ Ws فقط . وعلاوة على ذلك تتغير السعة الحرارية النوعية بتغير درجة الحرارة .

مثال : السعة الحرارية النوعية للنحاس عند 20°C هي $c = 0{,}39 \cdot 10^3 \frac{Ws}{kg \cdot °C}$.

وعند 900°C: $c = 0{,}5 \cdot 10^3 \frac{Ws}{kg \cdot °C}$.

ملاحظة : تعتمد كمية الحرارة Q اللازمة لتسخين جسم ما على كتلته m وعلى فرق درجات الحرارة $\Delta\vartheta = \vartheta_h - \vartheta_c$ وعلى السعة الحرارية النوعية c .

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

مثال ١ : ما هو مقدار الشغل الحراري اللازم لتسخين 5 l من الماء من درجة 20°C حتى الغليان (100°C)؟

المعطيات : $m = 5\ kg;\ \Delta\vartheta = 80°C;\ c = 4{,}18 \cdot 10^3 \frac{Ws}{kg \cdot °C}$

المطلوب : حساب كمية الحرارة Q بوحدة (Ws) .

الحل : $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta = 4{,}18 \cdot 10^3 \frac{Ws}{kg \cdot °C} \cdot 5\ kg \cdot 80°C = 16{,}72 \cdot 10^5\ Ws$

$Q = 0{,}46\ kWh$

مثال ٢ : كم كيلوجراما من النحاس يمكن تسخينها من 20°C إلى 100°C بشغل حراري مساو لما في المثال (١) ؟

المعطيات : $c = 0{,}39 \cdot 10^3 \frac{Ws}{kg \cdot °C}$; $\Delta\vartheta = 80°C$

المطلوب : حساب الكتلة (m) بوحدة الكيلوجرام (kg)

الحل : $m = \frac{Q}{c \cdot \Delta\vartheta} = \frac{16{,}72 \cdot 10^5\ Ws}{0{,}39 \cdot 10^3 \frac{Ws}{kg \cdot °C} \cdot 80°C} = 53{,}7\ kg$

القوة

وحدة القوة	kp	p	N
1 N			
1 kg·m/s²	0,102	102	1
kp	1	10^3	9,81
p	10^{-3}	1	$9{,}81 \cdot 10^{-3}$

٧٩ - ١ جدول تحويل وحدات القوة

الشغل

وحدة الشغل	J	kWh	kcal	kpm
1 J				
1 Nm				
1 Ws	1	$2{,}78 \cdot 10^{-7}$	$0{,}239 \cdot 10^{-3}$	0,102
$1\ \frac{kgm^2}{s^2}$				
1 kWh	$3{,}6 \cdot 10^6$	1	860	$3{,}67 \cdot 10^5$
1 kcal	$4{,}1868 \cdot 10^3$	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$	1	427
1 kpm	9,81	$2{,}72 \cdot 10^{-6}$	$2{,}34 \cdot 10^{-3}$	1

٧٩ - ٢ جدول تحويل وحدات الطاقة والشغل وكمية الحرارة.

القدرة

وحدة القدرة	W	kcal/s	kpm/s	HP
1 W				
1 Nm/s	1	$2{,}39 \cdot 10^{-4}$	0,102	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$
1 J/s				
1 kcal/s	4190	1	427	5,69
1 kpm/s	9,81	$2{,}34 \cdot 10^{-3}$	1	$1{,}33 \cdot 10^{-2}$
1 HP	736	0,176	75	1

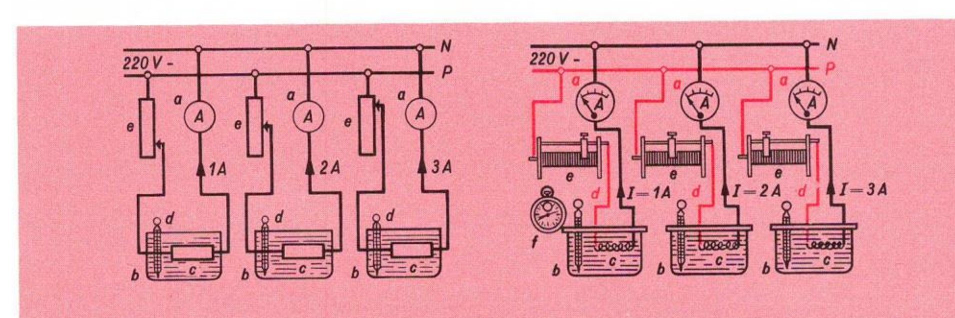
٧٩ - ٣ جدول تحويل القدرة وسريان الطاقة وسريان الحرارة

٣-٨ التأثير الحراري للتيار الكهربائي

٣-٨-١ تحويل الطاقة بواسطة الأجهزة الكهربائية الحرارية

٣-٨-١-١ العوامل التي تعتمد عليها كمية الحرارة الناتجة

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة



التجربة ٢٣ : تتوقف كمية الحرارة المتولدة على شدة التيار.

التجهيزات : a = أمبيرمتر

b = حوض زجاجي به 1 kg من الماء المُقطَّر ، يلوَّن بالمداد مثلا ، لتجنب إشعاع الحرارة .

c = مقاومة $R = 40\,\Omega$

d = ترمومتر (مقياس حرارة)

e = مقاومة متغيرة

f = ساعة

خطوات العمل :قس درجة حرارة الماء ϑ_c. حمّل مقاومات التسخين بتيارات 1 A, 2 A, 3 A ، خذ القراءات في وقت واحد بعد مضي أربع دقائق . عيّن زيادة درجة الحرارة $\Delta\vartheta = (\vartheta_h - \vartheta_c)$

القراءات :

المقاومة R (Ω)	شدة التيار I (A)	زمن سريان التيار t (min)	كتلة الماء m (kg)	إرتفاع درجة الحرارة $\vartheta_h - \vartheta_c$ (°C)	كمية الحرارة Q (Ws)
40	1	4	1	2,3	$9{,}6 \cdot 10^3$
40	2	4	1	9,2	$38{,}4 \cdot 10^3$
40	3	4	1	20,7	$86{,}4 \cdot 10^3$

احسب Q طبقا للصيغة : $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$

ينتج عن مرور 1 A خلال 40 Ω لمدة 4 min توليد كمية حرارة قدرها $9{,}6 \cdot 10^3$ Ws

ينتج عن مرور 2 A خلال 40 Ω لمدة 4 min توليد كمية حرارة قدرها $2 \cdot 2 \cdot 9{,}6 \cdot 10^3$ Ws

ينتج عن مرور 3 A خلال 40 Ω لمدة 4 min توليد كمية حرارة قدرها $3 \cdot 3 \cdot 9{,}6 \cdot 10^3$ Ws

النتيجة : تتناسب كمية الحرارة تناسبا طرديا مع مربع التيار ($Q \sim I^2$) .

التجربة ٢٤ تعتمد كمية الحرارة المتولدة على مقاومة سلك التسخين .

التجهيزات : مثل التجربة (٢٣) ، لكن مع استخدام المقاومات $R = 10\,\Omega$ و $R = 20\,\Omega$ و $R = 30\,\Omega$

خطوات العمل :قس ϑ_c ، أمرر تيارا قدره 2 A في جميع المقاومات لمدة أربع دقائق ، ثم قس ϑ_h واحسب Q .

القراءات :

المقاومة R (Ω)	شدة التيار I (A)	زمن سريان التيار t (min)	كتلة الماء m (kg)	إرتفاع درجة الحرارة $\vartheta_h - \vartheta_c$ (°C)	كمية الحرارة Q (Ws)
10	2	4	1	2,3	$9{,}6 \cdot 10^3$
20	2	4	1	4,6	$19{,}2 \cdot 10^3$
30	2	4	1	6,9	$28{,}8 \cdot 10^3$

النتيجة : تتناسب كمية الحرارة تناسبا طرديا مع المقاومة ($Q \sim R$) .

التجربة ٢٥ تعتمد كمية الحرارة المتولدة على زمن سريان التيار .

التجهيزات : مثل التجربة ٢٣ ، ولكن مع استخدام مقاومة واحدة $R = 10\,\Omega$ فقط .

خطوات العمل :قس ϑ_c ، اضبط التيار 2 A ، اقرأ ϑ_h بعد أربع دقائق ثم ثمان دقائق ثم ستة عشر دقيقة . احسب Q .

القراءات :

R (Ω)	I (A)	زمن سريان التيار t (min)	كتلة الماء m (kg)	إرتفاع درجة الحرارة $\vartheta_h - \vartheta_c$ (°C)	كمية الحرارة Q (Ws)
10	2	4	1	2,3	$9{,}6 \cdot 10^3$
10	2	8	1	4,6	$19{,}2 \cdot 10^3$
10	2	16	1	9,2	$38{,}4 \cdot 10^3$

النتيجة : تتناسب كمية الحرارة تناسبا طرديا مع الزمن ($Q \sim t$) .

النتيجة الكلية من التجارب (٢٣) و (٢٤) و (٢٥) :
تتناسب كمية الحرارة المتولدة طرديا مع مربع التيار ، ومع المقاومة ومع الزمن .

$Q \sim I^2 \cdot R \cdot t$

وحيث أن : $P = I^2 \cdot R$

فتكون $Q \sim P \cdot t$

٣-٨-٢ التقييم الحسابي للتجربة ٢٣ وقانون جول (Joule) .

1 A يولّد في مقاومة قدرها 40 Ω في 240 s كمية من الحرارة قدرها $9{,}6 \cdot 10^3$ Ws

1 A يولّد في مقاومة قدرها 1 Ω في 240 s كمية من الحرارة قدرها $\frac{9{,}6 \cdot 10^3}{40}$ Ws

1 A يولّد في مقاومة قدرها 1 Ω في 1 s كمية من الحرارة قدرها $\frac{9{,}6 \cdot 10^3}{40 \cdot 240} = 1$ Ws

1 A يولّد في 1 Ω في 1 s .... 1 Ws.

2 A يولّد في 1 Ω في 1 s .... $2^2 \cdot 1$ Ws.

I A يولّد في 1 Ω في 1 s .... $I^2 \cdot 1$ Ws.

I A يولّد في 2 Ω في 1 s .... $2 \cdot I^2 \cdot 1$ Ws.

I A يولّد في R Ω في 1 s .... $R \cdot I^2 \cdot 1$ Ws.

I A يولّد في R Ω في 2 s .... $2\, R \cdot I^2 \cdot 1$ Ws.

I A يولّد في R Ω في t s .... $t \cdot R \cdot I^2 \cdot 1$ Ws.

قانون جول : $Q = R \cdot I^2 \cdot t$ أو $Q = P \cdot t$

جدول التحويل (٧٩-٢)

مثال ١ : ما هي كمية الحرارة التي تولدها مقاومة مقدارها R = 20 Ω في ساعة واحدة ، إذا مر فيها تيار قدره 4,5 A ؟

المعطيات : $R = 20\ \Omega;\ I = 4{,}5\ A;\ t = 60 \cdot 60\ s = 3600\ s$

المطلوب : حساب كمية الحرارة بوحدة (Ws) .

الحل : $Q = R \cdot I^2 \cdot t = 20\ \Omega \cdot 4{,}5\ A \cdot 4{,}5\ A \cdot 3600\ s = 14{,}4 \cdot 10^5\ Ws = 0{,}4\ kWh$

مثال ٢ : ما هي كمية الحرارة التي يولّدها ملف التسخين في فرن كهربائي إذا شُغل بقدرة 800 W لمدة أربع ساعات ؟

المعطيات : $P = 800\ W;\ t = 4\ h$

المطلوب : حساب كمية الحرارة بوحدة (kWh) .

الحل : $Q = P \cdot t = 0{,}8\ kW \cdot 4\ h = 3{,}2\ kWh$

٣-٨-٣ الاستفادة من الشغل الكهربائي المعطى للجهاز .

يمكن في الحقيقة تحويل الشغل الكهربائي كله إلى حرارة (فرن التسخين الكهربائي) ، إلا أنه ليس في الإمكان دائما بأي حال من الأحوال الإستفادة بها للغرض المطلوب استفادة كاملة ، وعلى ذلك يجب الإمداد بشغل كهربائي أكثر مما هو ضروري نظريا . وتكون للأجهزة الحرارية كفاية (η) .

$$\text{الكفاية} = \frac{\text{الشغل الحراري المستفاد}}{\text{الشغل الكهربائي المعطى}} \qquad \eta = \frac{c \cdot m \cdot \Delta\vartheta}{P \cdot t}$$

وفي حالة الغلّايات الـكهربائية سريعة التسخين على سبيل المثال يستفاد بجزء من الطاقة الحرارية فقط في الغلي أما الباقي فيفقد بالتوصيل الحراري وانتقال الحرارة بالحمل والإشعاع الحراري (الفقد الحراري) . ولذا فإنه لا يسخن المـاء وحده ، وإنما الإناء والهواء المحيط به أيضـا .

مثال ١ : احسب قيمة مقاومة سلك التسخين اللازمة لغلاية سريعة التسخين تعمل على 220 V ، إذا لزم تسخين 2,5 l من المـاء بكفاية قدرها 90% في ثمان دقائق من 20°C إلى 100°C؟

المعطيات : $t = 8\ \text{min} = 480\ \text{s};\ \eta = 90\%;\ m = 2{,}5\ \text{kg};\ U = 220\ \text{V}$

$\Delta\vartheta = 80\,^\circ\text{C};\ c = 4{,}18 \cdot 10^3\ \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}}$

المطلوب : حسـاب المقاومة (R) بالأوم .

الحل : $P = \frac{U^2}{R};\quad \eta = \frac{c \cdot m \cdot \Delta\vartheta}{\frac{U^2}{R} \cdot t} R = \frac{U^2 \cdot t \cdot \eta}{c \cdot \Delta\vartheta}$

$$R = \frac{220\ \text{V} \cdot 220\ \text{V} \cdot 480\ \text{s} \cdot 0{,}9}{\frac{4{,}18 \cdot 10^3}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot 2{,}5\ \text{kg} \cdot 80\ {}^\circ\text{C}} = 25\ \Omega$$

مثال ٢ : ما هي كفاية مسخن غاطس قدرته 600 W ، إذا سخّن لتر واحد من المـاء من 20°C إلى درجة الغليان (100°C) في عشرة دقائق؟

المعطيات : $c = 4{,}18 \cdot 10^3\ \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}};\ t = 600\ \text{s};\ \Delta\vartheta = 80\,^\circ\text{C};\ m = 1\ \text{kg};\ P = 600\ \text{W}$

المطلوب : حسـاب الـكفاية بالنسبة المئوية

الحل : $$\eta = \frac{c \cdot m \cdot \Delta\vartheta}{P \cdot t} = \frac{4{,}18 \cdot 10^3\ \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot 1\ \text{kg} \cdot 80\,^\circ\text{C}}{600\ \text{W} \cdot 600\ \text{s}} = 0{,}93 = 93\%$$

مثال ٣ : ما مقدار القدرة الـكهربائية التي يجب أن تستهلـكها مقاومة تسخين لمسخّن تدفق مستمر إذا لزم تسخين ثلاثة لترات (3 l) من المياه كل دقيقة من 15°C إلى 40°C بكفاية 90%؟

المعطيات : $c = 4{,}18 \cdot 10^3\ \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}};\ m = 3\ \text{kg};\ \Delta\vartheta = 25\,^\circ\text{C};\ t = 60\ \text{s};\ \eta = 90\%$

المطلوب : حسـاب القدرة (P) بالواط (W) .

الحل : $$P = \frac{c \cdot m \cdot \Delta\vartheta}{t \cdot \eta} = \frac{4{,}18 \cdot 10^3\ \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot 3\ \text{kg} \cdot 25\,^\circ\text{C}}{60\ \text{s} \cdot 0{,}9} = 5800\ \text{W} = 5{,}8\ \text{kW}$$

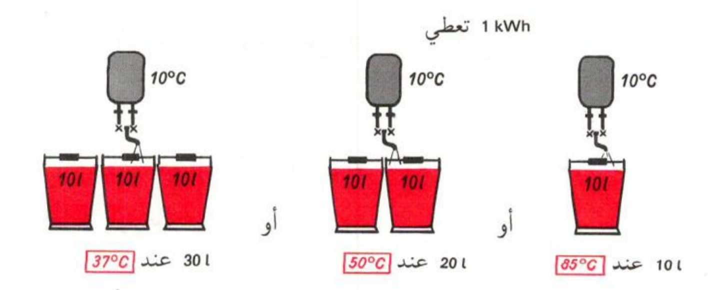
مثال ٤ : احسب الزمن اللازم لتسخين لترين (2 l) من المـاء من 15°C إلى درجة الغليان بواسطة مسخن غاطس قدرته 500 W ، إذا كانت الـكفاية 85%؟

المعطيات : $c = 4{,}18 \cdot 10^3\ \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}};\ m = 2\ \text{kg};\ \eta = 0{,}85;\ \Delta\vartheta = 85\,^\circ\text{C};\ P = 500\ \text{W}$

المطلوب : حسـاب الزمن (t) بالدقائق (min)

الحل : $$t = \frac{c \cdot m \cdot \Delta\vartheta}{P \cdot \eta} = \frac{4{,}18 \cdot 10^3\ \frac{\text{Ws}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot 2\ \text{kg} \cdot 85\,^\circ\text{C}}{500\ \text{W} \cdot 0{,}85} = 27{,}8\ \text{min}$$

٨٣ – ١ قاعدة تقريبية لحساب الشغل الحراري لكيلوواط ساعة.



٣–٨–٤ اعتماد الفنيين على قواعد تقريبية في التطبيق العملي

القاعدة التقريبية الأولى: يلزم 1 kWh لتسخين 10 l من الماء من درجة حرارة ابتدائية قدرها 10°C إلى 85°C.

القاعدة التقريبية الثانية: تعطي كمية محددة من الماء الدافئ في درجة 85°C ثلاثة أمثالها من مخلوط الماء (الدافئ والبارد) في درجة حرارة 35°C.

تبعا لهذا يمكن الحصول من 50 l من الماء الدافئ في درجة حرارة 85°C بخلطه مع ماء الصنبور (10°C) على حوالي 150 l من الماء الدافئ في درجة 35°C (تكفي حمّاما كاملا).

يمكن إثبات أن القاعدة التقريبية الثانية تعطي نسبة الخلط بدقة كافية للتطبيق العملي وذلك عن طريق إعادة الحساب باستعمال صيغة الخلط.

ϑ = درجة حرارة المخلوط
m_h = كمية الماء الدافئ باللتر
m_c = كمية الماء البارد باللتر
ϑ_h = درجة حرارة الماء الدافئ
ϑ_c = درجة حرارة الماء البارد

$$\vartheta = \frac{(m_h \cdot \vartheta_h) + (m_c \cdot \vartheta_c)}{m_h + m_c}$$

$$\vartheta = \frac{(50\,l \cdot 85°C) + (100\,l \cdot 10°C)}{150\,l} = \frac{5250\,l \cdot °C}{150\,l} = 35°C$$

تمرينات

١– يلزم أن تسخن غلاية كهربائية سريعة التسخين تعمل على 220 V ماءاً حجمه 1 l من درجة حرارة 10°C إلى درجة الغليان في أربع دقائق. ما قيمة مقاومة ملف التسخين إذا كانت الكفاية 0,85؟

٢– كم تبلغ الكفاية المتوسطة لغلاية كهربائية قدرتها 600 W تقوم بتسخين 1,5 l من الماء من 20°C إلى درجة الغليان في ثماني عشرة دقيقة؟

٣– من المعروف أن الإنسان يحتاج إلى 50 l من الماء في درجة 35°C للإستحمام (بالدوش). كم حمّاما (بالدوش) تصبح تحت تصرفنا إذا خلطت 100 l من الماء في درجة 85°C مع ماء الصنبور في درجة 10°C؟

٤– احسب الشغل الكهربائي المبذول لتسخين 2 l من الماء من درجة 10°C إلى درجة الغليان، إذا كانت كفاية جهاز التسخين الكهربائي 85%. وما هي تكلفة التسخين إذا كان ثمن الكيلوواط ساعة سبع هللات؟

٥– إذا خلطت 20 l من الماء في درجة 100°C مع 20 l من الماء في درجة 10°C، احسب درجة حرارة المخلوط.

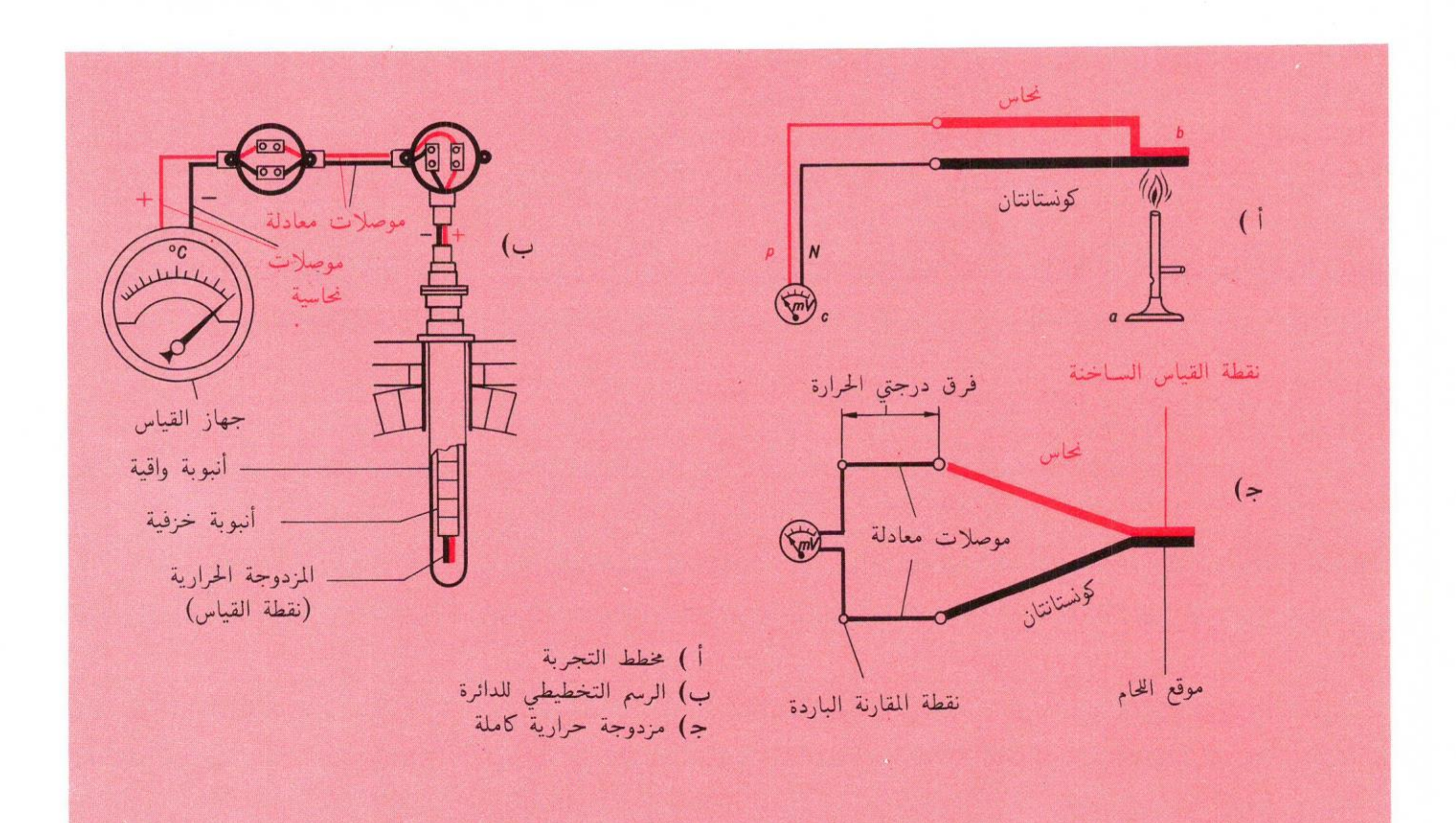
٦– كم Ws (واط ثانية) تلزم لتسخين كاوية لحام من النحاس زنة 80 g من +20°C إلى +320°C (جدول ٧٨–١)؟

٧– المطلوب تعيين السعة الحرارية النوعية لسائل ما، سخن منه 2 kg في إناء تام العزل (η=1) من 20°C إلى 60°C وقيس استهلاك الكهرباء على العداد فكان 93 Wh.

٣-٩ توليد الجهد عن طريق الحرارة

يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. وتحت ظروف خاصة يمكن بالعكس تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية.

٣-٩-١ توليد الجهد المستمر بواسطة المزدوجة الحرارية•



أ) مخطط التجربة
ب) الرسم التخطيطي للدائرة
ج) مزدوجة حرارية كاملة

التجربة ٢٦ طريقة العمل الأساسية لمزدوجة حرارية

التجهيزات: a = مصباح بنزن
b = سلكان من النحاس والكونستانتان مبرومان معا أو ملحومان بالمونة أو بلحام الصهر عند أحد الطرفين (مزدوجة حرارية).
c = ڤولطمتر حساس للتيار المستمر، صفر التدريج في المنتصف.

خطوات العمل: ١ - صل المزدوجة الحرارية بجهاز القياس بحيث يوصل الطرف الخالي لسلك النحاس مع القطب P.
٢ - سخن موضع الإتصال b مع زيادة شدة التسخين ببطء وبصفة مستمرة وراقب جهاز القياس.
٣ - اعكس طرفي جهاز القياس، ثم كرر العمل كما في (٢).

المشاهدة: في الخطوة (٢): كلما ازدادت درجة حرارة موضع الإتصال، ارتفع الجهد الحراري.
في الخطوة (٣): ينحرف مؤشر جهاز القياس في الاتجاه الآخر.

النتيجة: بتسخين موضع الإتصال ينشأ جهد مستمر ضئيل (بضعة ملي ڤولط) عند الطرف الخالي البارد لسلكي المزدوجة.

• اكتشف العالم الفيزيائي سيبك Seebeck (١٧٧٠-١٨٣١)، الكهرباء الحرارية في عام ١٨٢١.

٣-٩-٢ العلاقة بين قيمة الجهد واختلاف المعادن وفرق درجات الحرارة بين موضع القياس «الساخن» وموضع المقارنة «البارد»

ملاحظة: تبين سلسلة الجهد الكهربائي الحراري مقدار الجهد الكهربائي الممكن توليده بين المعادن المختلفة (٨٥-١) .

٨٥ — ١ سلسلة الجهد الكهربائي الحراري .

المعدن	الجهد (mV) عند فرق درجات حرارة 100 °C	المعدن	الجهد (mV) عند فرق درجات حرارة 100 °C
بزموت	−7,7	روديوم	+ 0,65
كونستانتان	−3,5	نحاس	+ 0,75
نيكل	−1,6	زنك	+ 0,77
بلاتين	±0,0	حديد	+ 1,85
(يعتبر كمعدن إسناد)		نيكل كروم	+ 2,2
كربون	+0,3	سليكون	+44,8
ألومنيوم	+0,4	تلوريوم	+50
منجنين	+0,6		

مثال : تولّد مزدوجة حرارية من النحاس والكونستانتان في حالة عدم التحميل :

+0,75 mV − (−3,5 mV) = 4,25 mV/100°C

تأثير درجات الحرارة (شكل ٨٥-٢) .

٨٥-٢ التوحيد القياسي للمزدوجات الحرارية طبقا للمواصفات القياسية DIN 43710

إزدواج المعادن		درجة الحرارة عند موضع القياس				درجة الحرارة الإسنادية °C	
الفرع الموجب	الفرع السالب	0°C	100°C	500°C	1000°C	1500°C	اللون المميز
حديد	كونستانتان	–	5,3 mV	27,7 mV	–	–	أزرق *
نحاس	كونستانتان	–	4,2 mV	30 mV	–	–	–
نيكل كروم	نيكل	–	3,8 mV	20,5 mV	41 mV	–	أخضر *
نيكل كروم	كونستانتان	–	5,7 mV	40 mV	70 mV	–	–
بلاتين – روديوم	بلاتين 10%	–	0,65 mV	4 mV	10 mV	16 mV	أبيض *

* لجميع الأطراف الموجبة لون إضافي أحمر

ملاحظة: ليس لمساحة مقطع أو طول المواد المستخدمة تأثير على مقدار الجهد الكهربائي .

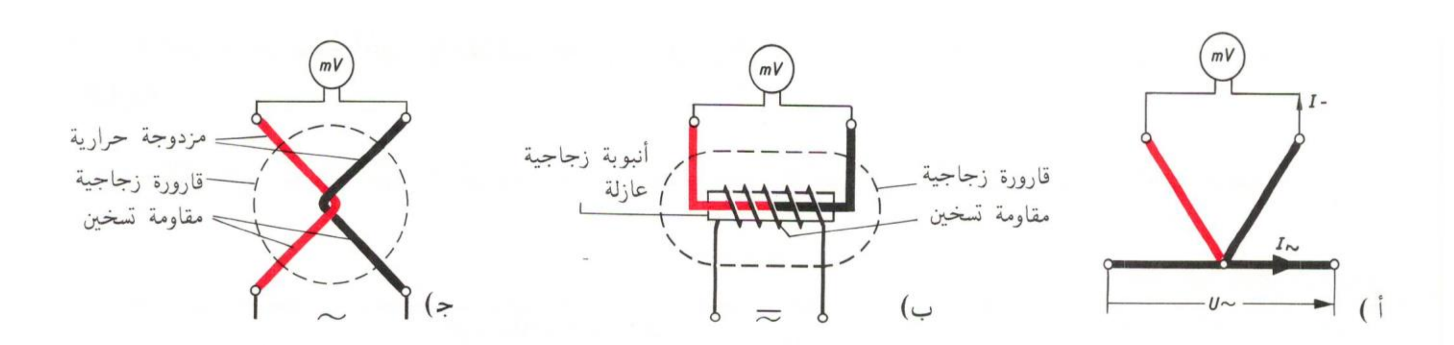
٣-٩-٣ قياس درجات الحرارة بالمزدوجات الحرارية

تتم معايرة الفولطمتر الحساس للجهد المستمر بالدرجات المئوية (التجربة ٢٦ ، الشكل ج) . ويمكن قياس درجات الحرارة من 250°C حتى 1600°C . والمزدوجة الحرارية أقل بطأ من الترمومتر كما أنها تسمح بالقياس عن بعد .

يستخدم البيرومتر الإشعاعي لقياس درجات الحرارة شديدة الإرتفاع عند المواضع التي يصعب الوصول إليها (معدن متوهج ، لهب ، فرن تصليد) . وإما أن تؤثر الإشعاعات الحرارية المستقبلة مباشرة على موضع القياس للمزدوجة الحرارية ، أو أن تقارن شدة توهج المادة المطلوب قياس درجة حرارتها بشدة توهج معايرة لفتيلة مصباح متوهج قابلة للضبط .

٣-٩-٤ المحول الحراري لقياس الجهود والتيارات المترددة

يسري التيار المراد قياسه خلال فتيلة تسخين فتسخن الحرارة المتولدة فيها موضع القياس للمزدوجة الحرارية وينشأ عند النهايات الباردة جهد مستمر . ويسمى ذلك بمحول حراري ، لأن التيار المتردد المراد قياسه قد يتحول إلى تيار مستمر . ومن ذلك تنشأ إمكانية قياس التيارات المترددة ، وكذلك تلك ذات الترددات العالية جدا (100 MHz) بطريقة غير مباشرة بواسطة جهاز قياس حساس ذي ملف متحرك (شكل ٨٦-١) .

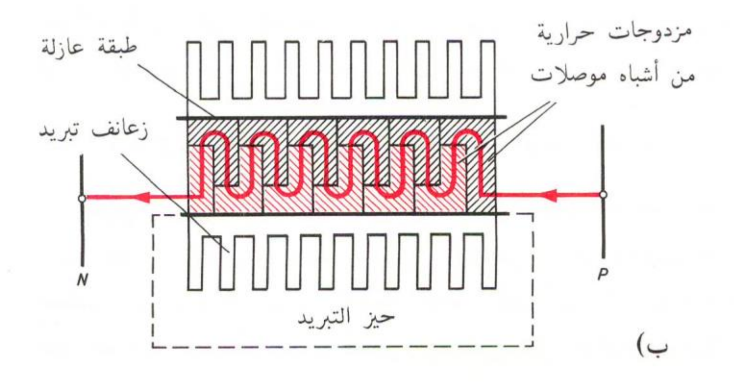


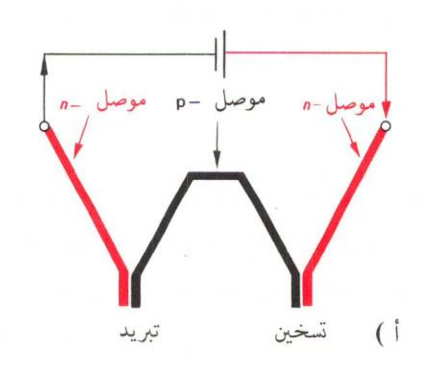
٨٦ - ١ أ) نظرية المحول الحراري . ب) تكون المحولات الحرارية المعزولة بطيئة الاستجابة بعض الشيء لأن انتقال الحرارة يكون غير مباشر . الميزة : تكون مجموعة القياس غير موصلة على جهد الدائرة الكهربائية المراد قياسها . ج) يكوّن الجزءان السفليان مقاومة التسخين والجزءان العلويان المزدوجة الحرارية .

٣-٩-٥ ظاهرة بلتييه (Peltier) (عكس ظاهرة التأثير الكهربائي الحراري)

يكون التأثير الحراري (التحويل الحراري الكهربائي للطاقة) عبارة عن تحويل الحرارة عند موضع اتصال معدنين مختلفين إلى طاقة كهربائية . وبالعكس إذا وصّلنا جهدا على المزدوجة الحرارية فإن أحد موضعي الإتصال يسخن من مرور التيار بينما يبرد الموضع الآخر (تحويل الطاقة الكهربائية إلى حرارة) . ومنذ بضع سنوات ، أمكن إثبات أن كلا التأثيرين يكون أكثر فعالية لو استخدمت مواد شبه موصلة بدلا من المعادن . ويستخدم تيلوريد البزموث الموصل الموجب p والسالب n كمادة شبه موصلة على سبيل المثال (شكل ٨٦-٢) . ومن ذلك تنشأ على وجه الخصوص إمكانية استخدام تأثير بلتييه - (بلتييه Peltier ، عالم فيزياء فرنسي ، ١٧٨٥-١٨٤٥) - في الصناعة (المبردات الكهربائية) . وقد أمكن التوصل إلى درجات حرارة تنخفض إلى 70°C- عند درجة حرارة خارجية 20°C+ .

٨٦ - ٢ أ) ظاهرة بلتييه : إذا مر التيار في الاتجاه المبين بالرسم فإنه يسخن الجانب الأيمن ويبرد الجانب الأيسر لأن اتجاه التيار يكون عكسيا . ب) رسم تخطيطي لتمثيل جهاز تبريد . توصل عدة وحدات من أشباه الموصلات على التوالي ، فتسخن مواضع الاتصال العلوية وتبرد المواضع السفلية . تسرب زعانف التبريد الحرارة من جهة وتوصل الحرارة في الجهة الأخرى من حيز التبريد إلى مواضع الاتصال الباردة السفلية ، أي أنها تسحب الحرارة من حيز التبريد وبذلك تبرده .

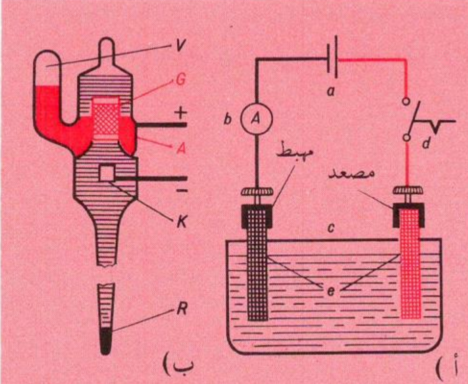




٤ التأثير الكيميائي للتيار الكهربائي

٤-١ التحليل بالكهرباء

٤-١-١ تأثير التيار الكهربائي على المحاليل المائية للأملاح والأحماض والقواعد



أ) مخطط التجربة. ب) استخدام التحليل الكهربائي في عداد ستيا الكهربائي. محلول من يوديد الزئبق ويوديد البوتاسيوم في الوعاء الزجاجي كإلكتروليت (محلول كهربائي). A = مصعد (تجويف مملوء بالزئبق مع خزان V). K = المهبط (صفيحة من الإيريديوم). تفصل الشبكة G حيز المصعد عن حيز المهبط. تسمح الشبكة بمرور الإلكتروليت بينما لا تسمح بمرور الزئبق خلالها. يتساقط الزئبق المنفصل عند المهبط في أنبوبة التجميع R. فإذا ما امتلأت أنبوبة التجميع يقلب المقياس وينساب الزئبق عائدا إلى حيز المصعد.

التجربة رقم ٢٧ التحليل الكهربائي

التجهيزات : a = مصدر الجهد — d = مفتاح كهربائي
b = أمبيرمتر — e = أعمدة من الكربون
c = حوض زجاجي به ماء مقطّر

خطوات العمل :١- صل دائرة التيار وراقب الأمبيرمتر
٢ - أضف إلى الماء قليلا من محلول كبريتات النحاس. صل دائرة التيار وراقب الأمبيرمتر.

المشاهدة : ١ - لا ينحرف مؤشر القياس ولا يمر أي تيار.
٢ - ينحرف جهاز القياس ويمر تيار. بعد قليلٍ من الوقت يظهر ترسيب نحاسي على القطب السالب.

النتيجة : ١ - يبدي الماء النقي مقاومة كبيرة جدا للتيار الكهربائي ولا يمر خلاله عمليا أي تيار.
٢ - يصبح الماء موصلا بإضافة بعض المواد الكيميائية. ويحدث تغيير كيميائي للمحلول المائي لكبريتات النحاس عند مرور التيار.

يمكن الحصول على نفس النتيجة (تجربة ٢٧) إذا ما أضيفت بضع قطرات من حامض أو قاعدة إلى الماء النقي بدلا من كبريتات النحاس. وعندئذ يلاحظ عدم وجود ترسيبات عند الأقطاب وإنما يلاحظ تصاعد فقاعات.

٤-١-٢ التيار الكهربائي في الموصلات السائلة

تكون الإلكترونات الحرة هي حاملات الشحنة الكهربائية في المعادن. وفي الكثير من السوائل تتكون حاملات الشحنة تلقائيا عن طريق تحلل بعض من الجزيئات المتكونة بالارتباط الأيوني (انظر صفحة ١٤) إلى أيونات «موجبة وسالبة الشحنة الكهربائية». وتعرف الأيونات ذات الشحنة الموجبة بالكاتيونات والأيونات ذات الشحنة السالبة بالأنيونات.

تعرف عملية إنقسام الجُزيء في سائل ما إلى كاتيونات وأنيونات بالتفكُّك الإلكتروليتي ويحدث ذلك بدون أي إمرار للكهرباء من الخارج .

٤-١-٣ التحليل الكهربائي

يعرف تفكك المواد بواسطة التيار الكهربائي بالتحليل الكهربائي*** . وتسمى المواد القابلة للتحليل بواسطة التيار الكهربائي بالإلكتروليتات ، وهي محاليل مائية من الأحماض أو القواعد أو الأملاح . وتتخذ الصيغ الكيميائية الصورة الأساسية : الأحماض = H + شق حمضي ، القواعد = OH + معدن ، الملح = معدن + شق حمضي . وتسمى الموصلات التي ينتقل التيار منها إلى الإلكتروليتات بالإلكترودات ، ويسمى الإلكترود المتصل بالقطب الموجب بالمصعد أو الأنود والمتصل بالقطب السالب بالمهبط أو الكاثود .

ملاحظة : يتحلل المركّب الكيميائي (الترابط الأيوني) في التحليل بالكهرباء بواسطة التيار المستمر . وبذلك يتفكك الإلكتروليت بصفة مستمرة .

٤-١-٣-١ حالة كلا الإلكترودين من الكربون

في حالة التحليل الكهربائي لكبريتات النحاس يتحلل الجزيء إلى كاتيونات نحاس Cu^{++} وأنيونات SO_4^{--} .

والمعادلة الكيميائية هي :

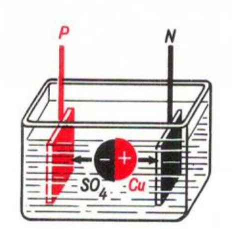
$2\,CuSO_4 + 2\,H_2O \rightarrow 2\,Cu^{++} \quad + 2\,SO_4^{--} \quad + 2\,H_2O$ cathode anode

كبريتات النحاس + ماء ← كاتيونات Cu +SO_4 أنيونات + ماء → $2\,Cu + 2\,H_2SO_4 + O_2$

(تتفكك في السائل) (عند سريان التيار)

وفي هذه الحالة يكون كل من النحاس والأكسيجين ثنائي التكافؤ ، أي ينقص كاتيون النحاس أربعة إلكترونات (فتغلب عليه الشحنة الموجبة) ويكون للأكسيجين فائض من أربعة إلكترونات أي تغلب عليه الشحنة السالبة . وحيث أن الشحنات المختلفة تتجاذب فيتجه النحاس إلى المهبط ويترسب عليه كطبقة طلاء . وتفقد أنيونات SO_4 شحنتها عند المصعد الذي لا يتغير كيميائيا (شكل ٨٨-١) . وتتحد أنيونات SO_4 مع الماء كيميائيا مكونة حامض الكبريتيك (H_2SO_4) ويطلق الأكسيجين ، فيتخلص من الإلكترونات الزائدة ويتكون جزيء غاز من ذرتين . وعندما يترسب كل النحاس على المهبط يتكون لدينا محلول H_2SO_4 بدلا من محلول $CuSO_4$.

- يلاحظ عند استخدام إلكترودات من الكربون ما يلي :
  - ترسب كمية من النحاس ذات وزن ملموس على المهبط (الكاثود)
- يقل تركيز محلول كبريتات النحاس
  - يتحول المحلول إلى محلول حامضي .
  - تتصاعد فقاعات غازية (أكسيجين) عند المصعد .



٨٨ - ١ الطلاء بالنحاس بطريقة التحليل بالكهرباء . تتحلل كبريتات النحاس إلى جزيئات SO_4 وجزيئات Cu .

* جزيء ، بالإنكليزية molecule ، باللاتينية molescula وتعني أصغر كتلة .

** أيون ، بالإنكليزية ion ، وتعني باليونانية متجول .

*** التحليل الكهربائي ، بالإنكليزية electrolysis .

٤-١-٣-٢ عند استخدام الكربون كمهبط (cathode) والنحاس كمصعد (anode)

يتحد في هذه الحالة كلا الأيونين SO_4 – بعد فقد شحنتيهما فورا – مع ذرات النحاس بالمصعد ليكوّنا $CuSO_4$ مرة ثانية.

المعادلة الكيميائية:

anode cathode

$$2\,Cu + 2\,SO_4^{--} + 2\,H_2O + 2\,Cu^{++} = 2\,CuSO_4 + 2\,H_2O + 2\,Cu$$

يترسب النحاس المتحلّل من المصعد كله على المهبط، أي أن تركيز المحلول يظل كما هو إلى أن يتحلل المصعد النحاسي.

- إذا ما استخدم الكربون كمهبط والنحاس كمصعد يلاحظ الآتي:
  - ترسيب كمية من النحاس ذات وزن محسوس على المهبط.
  - نقص محسوس لوزن النحاس بالمصعد.
  - بقاء تركيز المحلول ثابتا.

- بينما تكون الإلكترونات الحرة التي تتحرك فقط في اتجاه واحد في حالة التيار المستمر، هي حاملات الشحنات الكهربائية في مواد الموصلات، تكون الأيونات هي حاملات الشحنات الكهربائية في حالة التحليل الكهربائي، وهي تنتقل في كلا الاتجاهين وتنقل أثناء ذلك إلكترونات (توصيل بالحمل أو توصيل أيوني).

وليست الأيونات حاملات للشحنات فقط، ولكنها تحتوي أيضا على كتلة. ولذا فإن تيار الأيونات هو في نفس الوقت تيار كهربائي وتيار من المادة. وتكوّن كل من المعادن والهيدروجين (H) دائما أيونات موجبة، بينما يكوّن كل من الشق الحمضي ومجموعة الهيدروكسيدات (OH) أيونات سالبة.

ولتفكيك مركّب كيميائي يحتاج الأمر إلى كمية من الطاقة. وفي حالة التحليل الكهربائي يعطي التيار الكهربائي هذه الطاقة أي أن الطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة كيميائية.

تمرينات

١ – ما هو المقصود بالتحليل الكهربائي؟

٢ – راجع الفقرة الخاصة بالارتباط الأيوني (صفحة ١٤) ووضح الفرق بين الإلكترونات والأيونات.

٣ – ما هي وظيفة الإلكترودات؟

٤ – وضح سبب إنتقال المعادن والهيدروجين إلى المهبط.

٤ – ٢ التطبيق الهندسي للتحليل الكهربائي

٤-٢-١ الطلاء بالترسيب الكهربائي

في الطلاء بالترسيب الكهربائي تغطى المصنوعات المعدنية – بطرق إلكتروليتية – بطبقة رقيقة من الذهب أو الفضة أو الكادميوم أو النيكل. وفي هذه الحالة تستخدم هذه المعادن كمصعد يعلق في إلكتروليت مناسب لها (جدول ٨٩-١).

٨٩-١ مغاطس (حمّامات) الطلاء بالكهرباء لا تتماسك الطليات إلا أذا اتبعت القيم المذكورة بالجدول

المادة	ذهب	فضة	نحاس	نيكل
الجهد (V)	4	0,5...1,5	1,5...2	4...5
كثافة التيار (A/dm²)	0,4	1	1	0,6

التشكيل بالترسيب الكهربائي: وهي العملية التي تنتج بها نسخ من الأشكال بواسطة التحليل الكهربائي فإذا ما أريد عمل نسخة لعملة معدنية على سبيل المثال، يصنع لها قالب من الجبس ويرش الجانب المراد نسخه بالجرافيت، ثم يوضع القالب كمهبط في محلول كبريتات النحاس ويستخدم لوح من النحاس كمصعد. وبسريان التيار تتكون على قالب الجبس طبقة من النحاس يمكن فصلها فنحصل بذلك على طبعة العملة المعدنية.

الأكسدة الأنودية (anodizing): يمكن تزويد الألومنيوم بطبقة رقيقة للغاية ومتجانسة من الأكسيد بواسطة التيار الكهربائي. تغطس القطعة المراد أكسدتها كمصعد في إلكتروليت مناسب فيكوّن الأكسيجين المنطلق عند المصعد طبقة من الأكسيد على سطح القطعة، تكون مرتبطة بالمعدن الأصلي ارتباطا وثيقا.

وبذلك يصبح السطح الخارجي للقطعة شديد الصلادة. ومما يجعل لها أهمية كبيرة للهندسة الكهربائية في المستقبل القريب أنها تعزل التيار الكهربائي. إن طبقة من ذات سمك قدره 0,002 mm تكفي للعزل من 220 V. وتسمى هذه الطريقة كذلك بالأكسدة الإلكتروليتية (ألومنيوم مؤكسد كهربائيا).

٤-٢-٢ إنتاج المعادن النقية (الخالصة)

النحاس الإلكتروليتي: يكون النحاس المنتج في أفران الاستخلاص والسباكة غير نقي بدرجة كبيرة، ولذا فهو لا يصلح للاستعمال في الهندسة الكهربائية، ذلك لأن النحاس النقي فقط هو الذي تكون مقاومتة الكهربائية صغيرة، وهو ينتج باستخدام التيار الكهربائي، وتعلق لهذا الغرض أعمدة النحاس الخام كمصعد في مغطس ترسيب كهربائي ويستخدم لوح رقيق من النحاس كمهبط فيتفكك النحاس الخام وينفصل النحاس النقي عند لوح المهبط (نحاس مهبطي أو نحاس إلكتروليتي).

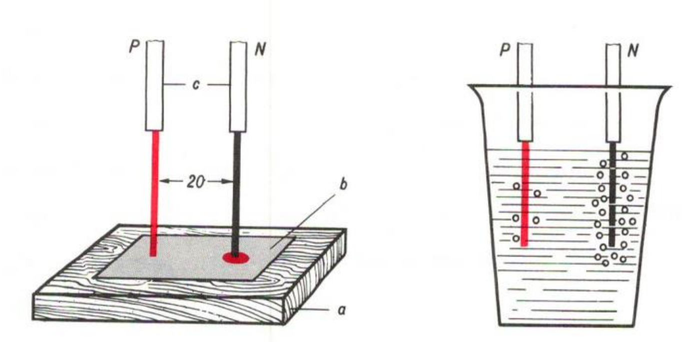
ويجب أن يكون اختيار الجهد في التحليل الكهربائي (جدول ٨٩-١) بحيث تذوب المعادن غير الثمينة فقط إلى جانب النحاس (الكوبلت، النيكل، الزنك... إلخ) عند المصعد ويترسب النحاس فقط عند المهبط. أما المعادن الثمينة (الفضة، الذهب، البلاتين) فلا تذوب وتستقر في قاع إناء التحليل الكهربائي، وتسمى مرسبات المصعد وغالبا ما تحتوي هذه المرسبات أيضا على السلنيوم والتلوريوم. وباستخدام طرق مختلفة تفصل هذه المواد من المرسبات وتستخدم في أغراض نافعة. أما المعادن غير الثمينة فتكون ذائبة في المحلول المتبقي من محلول كبريتات النحاس وحامض الكبريتيك وتفصل بطرق أخرى.

إنتاج الألومنيوم. يتم ذلك على مرحلتين هما:

١ - إنتاج الألومينا النقية (Al_2O_3) من البوكسيت (Bauxit)

٢ - استخلاص الألومنيوم المعدني من الألومينا النقية (الطَفلة) والكرايوليت (Cryolite). تصهر الطفلة باستخدام لهب قوس كهربائي، ثم يحلل هذا المنصهر بواسطة التيار الكهربائي، حيث يستخدم صندوق من الألواح الحديدية مغطى بعجينة كربونية مكبوسة كمهبط. يتجمع الألومنيوم في هذا الصندوق ويتجه الأكسيجين المنطلق إلى المصعد الكربوني.

ويستخلص من كل أربعة أطنان من البوكسيت طنان من الألومنيا والتي تعطي بدورها طنا واحدا من الألومنيوم، ويلزم لذلك نحو 22 MWh من الشغل الكهربائي. وباستخدام جهد تشغيل يبلغ من 4 V إلى 7 V ومن 25 kA إلى 45 kA.



٩١ – ١ اختبار الأقطاب باستعمال ماء موصل.
٩١ – ٢ تحديد الأقطاب باستخدام ورقة تعيين القطبية المبللة.
a مادة عازلة.
b ورقة تعيين القطبية.
c أطراف توصيل الجهد.

٤–٢–٣ تحديد نوع القطب بواسطة التحليل الكهربائي

يغمس كلا القطبين في ماء من الصنبور مضاف إليه بعض الحامض (شكل ٩١–١). يكون السلك الذي ينشأ عنده تجمُّع غازي شديد هو القطب السالب. ولا تحدث هذه الظاهرة في حالة التيار المتردد. ويمكن أيضا استخدام ورق تعيين القطبية المبلل لتحديد الأقطاب، فيصبح لونه أحمر بملامسة القطب السالب (شكل ٩١–٢). ولا يتلون باستخدام التيار المتردد لأن القطبين السالب والموجب يتبادلان على الدوام.

٤–٢–٤ قانون فارادي (Faraday، عالم فيزياء إنكليزي، ١٧٩١ – ١٨٥٧)

أظهرت التجربة (٢) أن هناك تناسبا طرديا بين كتلة النحاس (m) المترسب على اللوح السالب وكل من التيار (I) وزمن التشغيل (t)، أي أنه بمضاعفة التيار أو مضاعفة زمن التشغيل تتضاعف أيضا كمية النحاس المترسبة. وقد أثبت فارادي – بسلسلة طويلة من التجارب – أن لكمية المادة المترسبة بفعل 1A في ثانية واحدة قيمة محددة لكل مادة.

ملاحظة: يعطي المكافئ الكهربائي الكيميائي لمادة ما كمية المادة المترسبة في ثانية واحدة بالمليجرام لسريان تيار قدره 1A (الرمز المستخدم بالصيغ α).

المادة	α (mg/As)	المادة	α (mg/As)
ألومنيوم	0,0935	أكسيجين	0,083
كروم	0,18	فضة	1,118
ذهب	0,68	هيدروجين	0,01036
نحاس	0,329	زنك	0,339
نيكل	0,304	قصدير	0,617

المكافئات الكهربائية الكيميائية

مكافئ الفضة مثلا هو 1,118 mg/As أي أن أمبيرا واحدا يُرسِّب 1,118 mg من الفضة من محلول نترات الفضة في الثانية الواحدة.

قانون فارادي $m = \alpha \cdot I \cdot t$

$t = \frac{m}{\alpha \cdot I}$ $\quad I = \frac{m}{\alpha \cdot t}$

مثال: كم مليجراما من الفضة تترسب من محلول نترات الفضة في عشر دقائق إذا كانت شدة التيار 1,5 A؟

المعطيات: $t = 10\ \text{min} = 600\ \text{s};\ I = 1{,}5\ \text{A};\ \alpha = 1{,}118\ \text{mg/As}$

المطلوب: إيجاد وزن الفضة المترسبة بوحدة (mg).

الحل: $m = \alpha \cdot I \cdot t = 1{,}118\ \frac{\text{mg}}{\text{As}} \cdot 1{,}5\ \text{A} \cdot 600\ \text{s};\ m = 1006{,}2\ \text{mg} = 1{,}0062\ \text{g}$

تمرينات

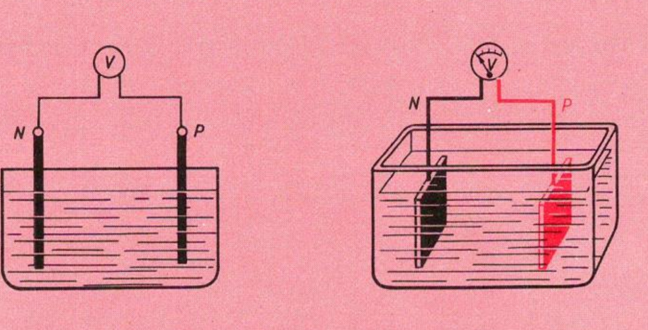
١ - صف طريقة إنتاج النحاس الإلكتروليتي .
٢ - كيف يمكن تحديد القطب الموجب في شبكة تيار مستمر ؟
٣ - صف طريقة الأكسدة الأنودية .
٤ - احسب التيار اللازم لترسيب 2 g من النحاس من محلول $CuSO_4$ في خمس ساعات ؟
٥ - يراد طلاء وجهي رقيقة معدنية قطرها 25 mm بالنيكل . حدِّد : أ) شدة التيار (شكل ٨٩ - ١) ، ب) كتلة طبقة الطلاء بعد ساعتين .

٤ - ٣ الخلايا الجلفانية (الأعمدة البسيطة)

توضِّح التجربة (٢) أن التيارات الكهربائية يمكن أن تسبب حدوث تفاعلات كيميائية ، أي أن الطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة كيميائية . وبالعكس يمكن توليد تيارات كهربائية عن طريق تفاعلات كيميائية . فتحوِّل الخلايا الجلفانية (جلفاني Galvani ، طبيب إيطالي ١٧٣٧ - ١٧٩٨) الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية .

وتستخدم الخلايا الجلفانية كمصدر للجهد في أجهزة الإتصالات وأجهزة التسجيل التي تعمل بالبطارية والأجهزة السمعية والساعات الكهربائية وأجهزة الإضاءة الومّاضة ... إلخ . وهي تحتاج إلى قدر قليل من الصيانة ، كما أن الجهاز ذاته لا يكون متصلا بالشبكة الكهربائية .

٤-٣-١ توليد الجهد باستخدام التحويل الكيميائي



مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة

التجربة ٢٨ التركيب الأساسي لخلية جلفانية

التجهيزات : a = لوح من زنك
b = لوح من النحاس
(لوح من كل من الفولاذ والرصاص والجرافيت والزنك والألومنيوم والكل سطحه خال من الأكاسيد)
c = وعاء زجاجي مملوء بماء مقطَّر (ماء الصنبور فيما بعد)
d = ڤولطمتر (مدى القياس إلى 2,5 V)

خطوات العمل : ١ - يُغطَّس لوحان من معدنين مختلفين (يسميان «إلكترودان») كالزنك والنحاس مثلا في وعاء زجاجي مملوء بالماء المقطر . يوصَّل ڤولطمتر يعمل على التيار المستمر بكلا الإلكترودين بحيث يكون الطرف الموجب لجهاز القياس عند لوح النحاس . إقرأ الجهد .
٢ - يستخدم ماء الصنبور بدلا من الماء المقطر .
٣ - يستبدل لوح النحاس بالمواد المذكورة في b ، ويقرأ الجهد .

المشاهدة : في الخطوة (١) : لا يبيّن الڤولطمتر أي جهد (غير موصل) .
في الخطوة (٢) : يبيّن الڤولطمتر جهدا يختلف تبعا للمادة .
لا يعطي إلكترودان من نفس المادة أي جهد . وبتغطيس لوح الألومنيوم ينحرف مؤشّر جهاز القياس إلى الناحية الأخرى ، أي أن لوح الزنك يصبح الآن قطبا موجبا .

النتيجة : تتكون الخلية من معدنين مختلفين أو من معدن وكربون (جرافيت) في سائل موصل . يتحدد مقدار الجهد تبعا لأنواع المواد المستخدمة .

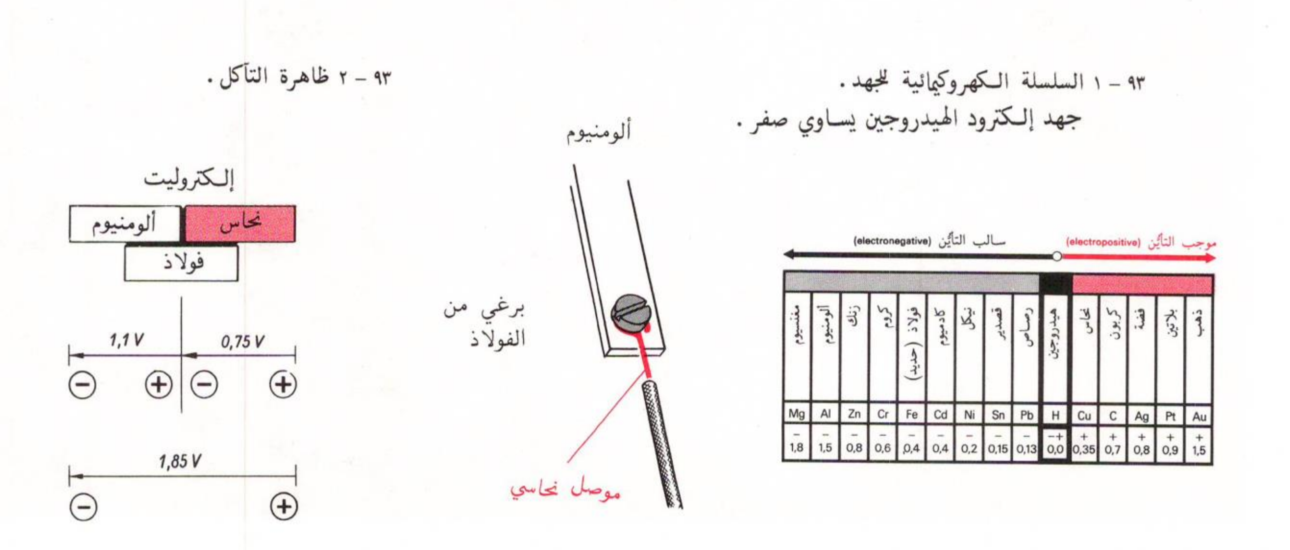
٤-٣-٢ السلسلة الكهروكيميائية للجهد (جدول ٩٣ -١)

تكون المواد الموجودة على اليسار القطب السالب بالنسبة للمواد الموجودة على اليمين . وكلما بعدت مادتان في السلسلة الكهروكيميائية عن بعضهما البعض كلما زاد الجهد .

التآكل الالكتروليتي . عند توصيل ألومنيوم بالنحاس مثلا (شكل ٩٣-٢) ، ينشأ جهد تحلل قدره 1,85 V بتأثير الرطوبة . ويتآكل موضع الإتصال إلكتروليتيا أو كما يقول الفنيون يتلف بالتآكل . وكلما بعدت المواد عن بعضها البعض في السلسلة الكهروكيميائية زاد معدل تآكل المعدن سالب التأيُّن ولذا يجب ألا تجمع معا في الكبلات الأرضية موصلات من النحاس والألومنيوم . وتنتج في الصناعة أطراف توصيل خاصة من النحاس والألومنيوم (ماسك ألومنيوم مغلف بالنحاس) ، حيث يدلفن النحاس والألومنيوم معا بطريقة وثيقة لا تسمح للرطوبة بالتسرب بينهما .

ملاحظة : يمكن تجنب تآكل التلامس إلى حد بعيد بالطرق الآتية :
أ) إذا ما استعملت مواد متماثلة بقدر الإمكان
ب) إذا كانت المادتان قريبتين من بعضهما البعض في السلسلة الكهروكيميائية
ج) إذا منعت الأحماض والمحاليل القلوية والماء من الوصول إلى نقط التلامس .

تستخدم قضبان الخطوط الحديدية الكهربائية موصل رجوع للتيار المستمر ، فإذا لم يكن ربطها جيد التوصيل الكهربائي ، فقد ينشأ الخطر في أن يجد التيار طريقا أفضل للرجوع (ماسورة مياه بالقرب من القضبان مثلا) . وإذا ما سارت هذه التيارات المتسربة خلال أرض رطبة نتج الهيدروجين عند موضع الدخول إلى الماسورة والأكسيجين عند موضع الخروج منها ، أي أن الماسورة تتلف .



مغنسيوم	ألومنيوم	زنك	كروم	فولاذ (حديد)	كادميوم	نيكل	قصدير	رصاص	هيدروجين	نحاس	كربون	فضة	بلاتين	ذهب
Mg	Al	Zn	Cr	Fe	Cd	Ni	Sn	Pb	H	Cu	C	Ag	Pt	Au
− 1,8	− 1,5	− 0,8	− 0,6	− 0,4	− 0,4	− 0,2	− 0,15	− 0,13	−+ 0,0	+ 0,35	+ 0,7	+ 0,8	+ 0,9	+ 1,5

٩٣ - ١ السلسلة الكهروكيميائية للجهد .
جهد إلكترود الهيدروجين يساوي صفر .

٩٣ - ٢ ظاهرة التآكل .

٤-٣-٣ العلاقة بين الجهد المتولد ونوع وتركيز الإلـكتروليت

التجربة ٢٩ تأثير الإلـكتروليت على مقدار الجهد

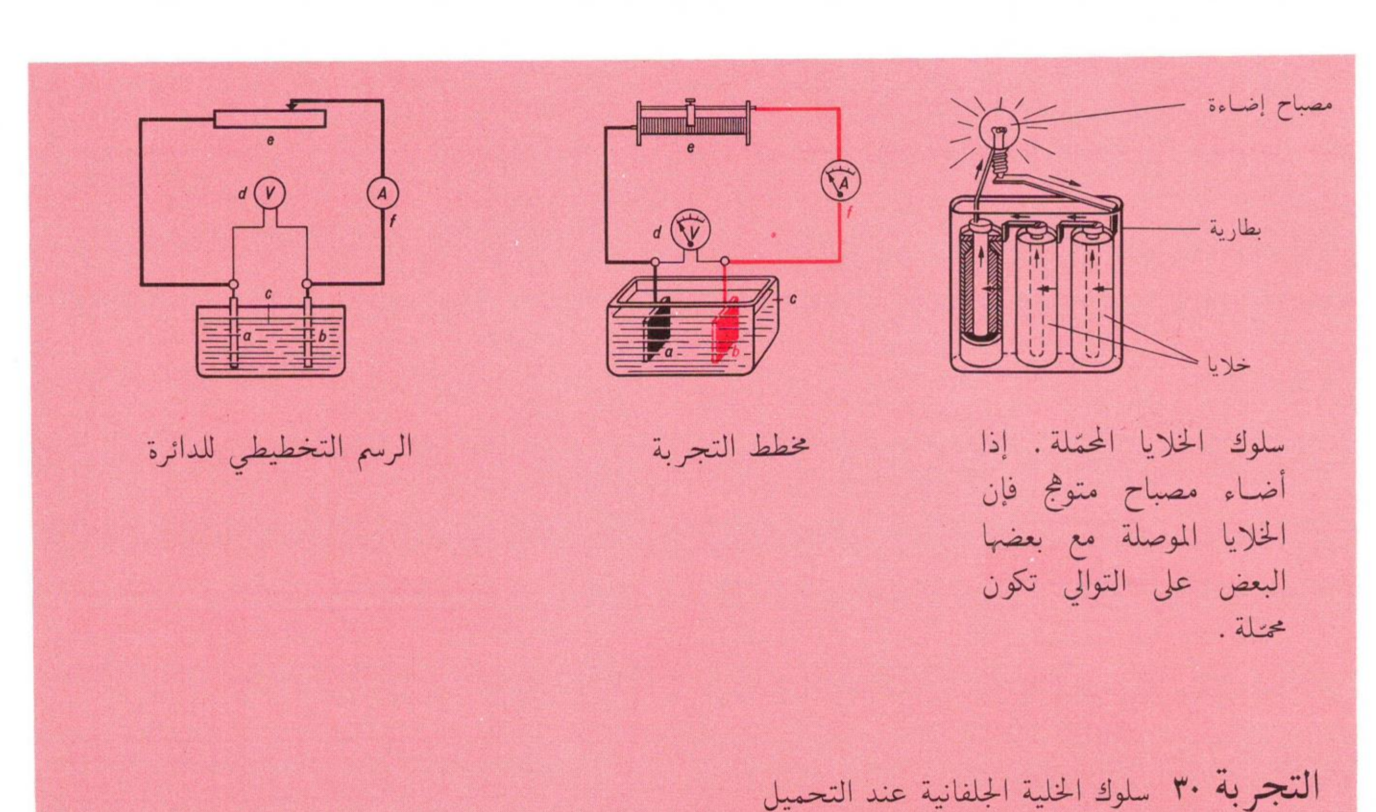
التجهيزات: الرسم التخطيطي للدائرة حسب تجربة ٢٨
a = لوح من الزنك
b = لوح من النحاس
c = إناء زجاجي مملوء بماء الصنبور (حامض الـكبريتيك المخفف فيما بعد)
d = ڤولطمتر (مدى القياس 10 V)

خطوات العمل: ١ – يغمس اللوحان في الإناء الزجاجي المملوء بماء الصنبور ثم يقاس الجهد.
٢ – يستبدل ماء الصنبور بحامض الـكبريتيك المخفف.
٣ – يرفع اللوحان إلى خارج السائل تدريجيا (لتغيير مساحة سطح اللوحين) راقب الڤولطمتر.
٤ – غيِّر المسافة بين اللوحين ثم راقب الڤولطمتر.
٥ – زد تركيز الإلـكتروليت بإضافة حامض الـكبريتيك المركّز تدريجيا، ثم راقب الڤولطمتر.

المشاهدة: في الخطوة (١): يبين الڤولطمتر حوالي 1 V. في الخطوة (٢): يبين الڤولطمتر أكثر من 1 V. في الخطوتين (٣) و (٤) يبين الڤولطمتر دائما نفس المقدار وفي الخطوة (٥): يبين الڤولطمتر جهدا أعلى حتى تركيز معين للإلـكتروليت.

النتيجة: لا تعتمد قيمة الجهد المتولد على المسافة بين اللوحين ولا على مساحتيهما، ولذا تعطي خلية كبيرة نفس الجهد الذي تعطيه خلية صغيرة لها نفس التركيب. ويعتمد مقدار الجهد المتولد على نوع وتركيز الإلـكتروليت.

٤-٣-٤ الخلايا المحمّلة



سلوك الخلايا المحمّلة. إذا أضاء مصباح متوهج فإن الخلايا الموصلة مع بعضها البعض على التوالي تكون محمّلة.

مخطط التجربة

الرسم التخطيطي للدائرة

التجربة ٣٠ سلوك الخلية الجلفانية عند التحميل

التجهيزات : a = لوح من الزنك
b = لوح من النحاس
c = إناء زجاجي به حامض كبريتيك مخفف
d = ڤولطمتر
e = مقاومة متغيرة خارجية (R_{ex}) من 800 Ω إلى 1000 Ω
f = أمبيرمتر

خطوات العمل : مع مراقبة الأمبيرمتر والڤولطمتر (جهد الأطراف) :

١ – حمّل الخلية بالمقاومة الكلية ثم اخفض المقاومة تدريجيا إلى الصفر (دائرة قصر) .

٢ – حمّل الخلية تحميلا كاملا ، ثم زد تركيز الإلكتروليت .

٣ – أنقص المسافة بين اللوحين للمقاومة الخارجية (R_{ex}) من 800 Ω إلى 1000 Ω .

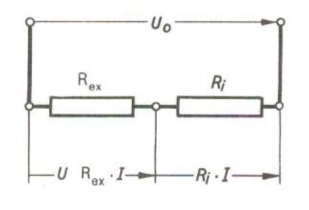
٤ – استخدم ألواحا أكبر أو اغمس اللوحين إلى عمق أكبر .

المشاهدة : في الخطوة (١) : كلما انخفضت مقاومة التحميل زاد التيار ، وقل جهد الأطراف كلما زاد التيار . في حالة دائرة القصر يسري أكبر تيار ويكون جهد الأطراف صفرا . في الخطوات (٢) و (٣) و (٤) : يزداد التيار ويقل جهد الأطراف .

النتيجة : يهبط جهد الأطراف لأية خلية محملة مع زيادة التيار رغم عدم تغير مقاومة التحميل ويزداد التيار بزيادة تركيز الإلكتروليت وإنقاص المسافة بين اللوحين وزيادة مساحتيهما .

وطبقا للحقيقة الثابتة أنه رغم ثبات مقاومة التحميل يزداد التيار بزيادة تركيز الإلكتروليت وإنقاص المسافة بين اللوحين أو زيادة المساحة السطحية لهما ، يجب أن نستخلص طبقا لقانون أوم وجود مقاومة أخرى في الدائرة تنخفض قيمتها مع تلك التأثيرات . ويسري التيار من القطب الموجب للخلية خلال الموصل الخارجي ثم في مقاومة التحميل (المقاومة الخارجية R_{ex}) ثم في موصل الرجوع إلى القطب السالب ، كما يسري في داخل الخلية من القطب السالب خلال الإلكتروليت (المقاومة الداخلية R_i) عائدا إلى القطب الموجب . وتتوقف قيمة المقاومة الداخلية على نوع وتركيز عمود السائل (الموصلية $\varkappa$) ، وعلى مساحة اللوحين (المقطع A) وعلى ارتفاع عمود السائل (المسافة بين اللوحين l) . يُعزى ازدياد التيار في التجربة (٣٠) رغم ثبات المقاومة الخارجية إلى انخفاض المقاومة الداخلية ، ففي هذه التجربة نقصت المسافة l بين اللوحين ، وازدادت كل من الموصلية $\varkappa$ ومساحة اللوحين A ($R_i = l / \varkappa \cdot A$) . وفي الخلايا المحملة يجب التفرقة بين الجهد المسلّط المولد داخل الخلية U_o وجهد الأطراف U (انظر صفحة ١٠٥) ، إذ أن جهدا معينا يُستهلك للتغلب على المقاومة الداخلية ولا يكون متاحا عند طرفي الخلية . وتكون المقاومتان الخارجية R_{ex} والداخلية R_i موصلتان على التوالي ، ويبلغ هبوط الجهد في المقاومة الخارجية $R_{ex} \cdot I$ وفي المقاومة الداخلية $R_i \cdot I$.

٩٥ – ١ المقاومتان الداخلية والخارجية لخلية ما موصلتان على التوالي .



الجهد المسلّط = جهد الأطراف + هبوط الجهد في الخلية : $U_o = U + R_i \cdot I$ ومن ثم فإن $U = U_o - R_i \cdot I$. ويهبط جهد الأطراف عند سحب التيار هبوطا أكثر كلما زادت المقاومة الداخلية ، أي كلما صغرت الخلية .

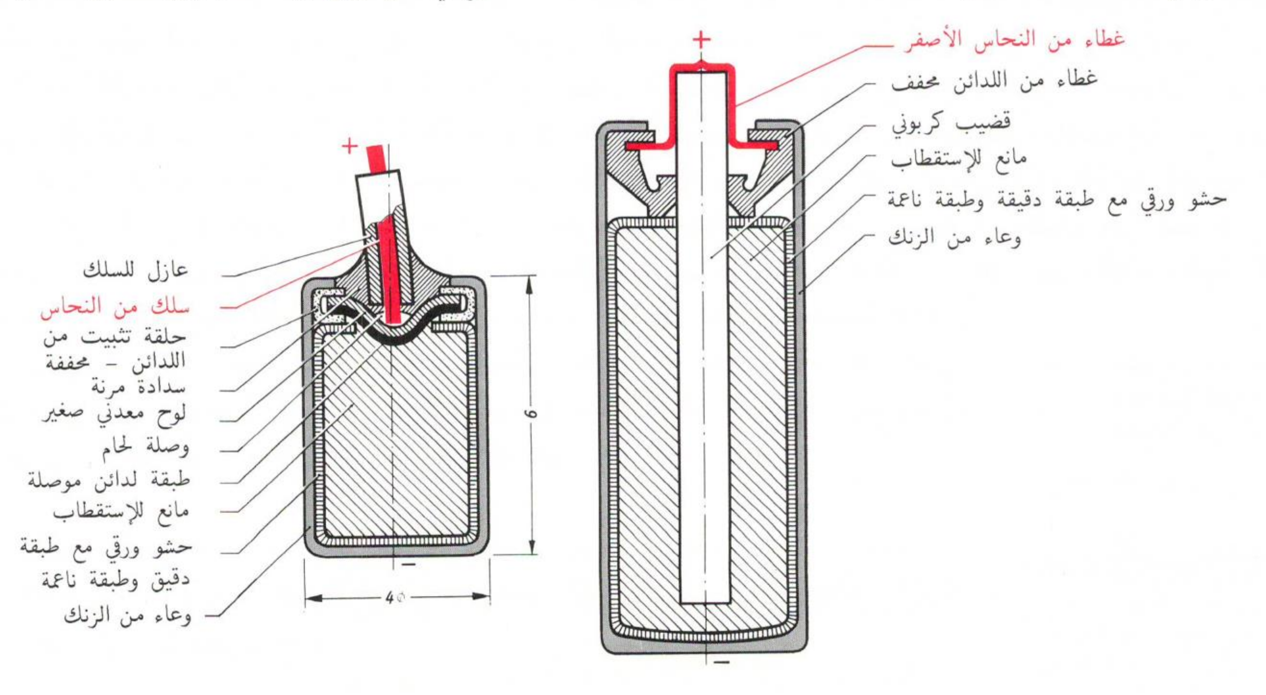
٤-٣-٥ أنواع الخلايا الجلفانية

خلايا لِكْلانشيه (خلايا عجينية) (Leclanché ، عالم فيزياء فرنسي ، ١٨٣٩-١٨٨٢) . ويتكوّن الإلكتروليت من محلول من كلوريد النشادر (ملح النشادر) وكلوريد الزنك وكلوريد المغنيسيوم وكلوريد الكالسيوم أو الليثيوم. يخلط الإلكتروليت مع مادة الأساس (دقيق القمح أو الذرة) لتصبح عجينة مكثفة. ويصنع الإناء الخارجي من ورق الكرتون.

تماثل الخلايا ذات الحشو الورقي (شكل ٩٦-١) خلايا لكلانشيه. ولا تختلف عنها إلا في استبدال العجينة (الإلكتروليت) ذات الثقل والحجم الكبير نسبيا بورق رقيق متشرِّب بعجينة من كلوريد المغنيسيوم ولذا تكون هذه الخلايا أصغر وأخف ويكون لها بجانب عيوبها خواص جيدة (تيار دائرة قصر عال وتحميل عال لفترة وجيزة) وهي تستعمل غالبا في أجهزة الراديو الصغيرة. وتصنع الخلايا الصغيرة بدون قضيب من الكربون (شكل ٩٦-٢) ويكون قطرها 4 mm فقط وطولها 6 mm وتستخدم لإمداد المجسَّات الطبية بالكهرباء. ويبتلع المريض المِجَسّ الذي يعطي - عن طريق جهاز للإرسال - معلومات عن الضغط ودرجة الحرارة وتركيب أحماض المعدة.

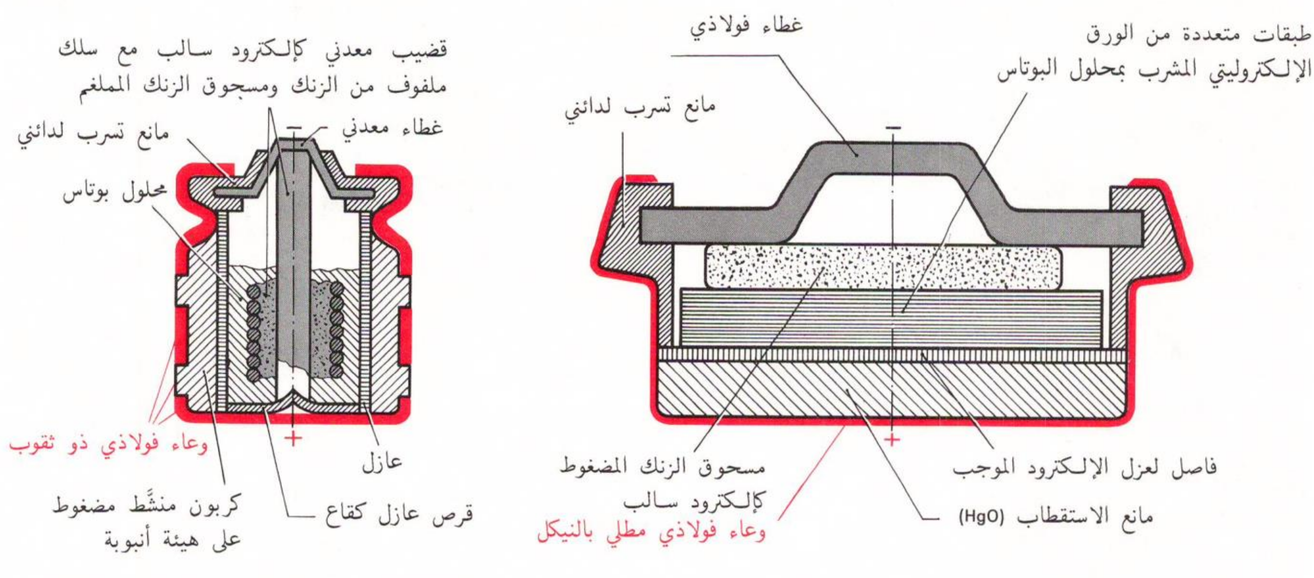
الخلايا ذات الإلكتروليتات القلوية: أصبحت ضرورية بعد أن زاد إنتاج الأجهزة الإلكترونية الصغيرة المتنقلة - مثل الأجهزة السمعية - زيادة كبيرة. وحديثا تستخدم أيضا في أجهزة التلفزيون المتنقلة حيث يمكنها أن تعطي جُهدا ثابتا لفترة طويلة، كما تعطي بالإضافة إلى ذلك قدرة عالية نسبيا. ويبين شكل (٩٧-١) خلية أكسيد زئبق (HgO) قلوية بحجم الزر.

العيوب: يجب أن يحكم إغلاق هذه الخلايا جيدا، لأن تركيز محلول البوتاس الموجود بها يكون حوالي 40% ويؤثر على الجلد. وتصنع كذلك لساعات اليد التي تعمل بالكهرباء خلايا على شكل أزرار ذات إلكترود موجب من الإنديوم، أما الإلكترود السالب فيمكن أن يكون من الجرمانيوم أو الموليبدنوم مثلا، وتناظر في قطرها وسُمكها قطعة نقد معدنية صغيرة.



٩٦ - ١ مقطع في خلية ذات حشو ورقي.

٩٦ - ٢ مقطع في خلية برتريكس - أندو (تيار التشغيل 0,1 mA).



٩٧ - ١ مقطع في خلية HgO قلوية بحجم الزر

٩٧ - ٢ خلية أكسيجين جوي قلوية صغيرة

تشابه خلايا الأكسيجين الجوي بجميع أنواعها الخلايا العجينية في تركيبها، إلا أن عبوة الكيس لا تكون من مسحوق خام المنجنيز وإنما من «الكربون المنشَّط» ذي خاصية امتصاص الغازات والمواد الأخرى والسماح بمرور الأكسيجين الجوي. ويجب أن يكون لكيس الكربون اتصال كاف مع الهواء الخارجي، لذلك فإن للخلية أنابيب صغيرة متصلة بحيز هوائي فوق كيس الكربون ويبين شكل (٩٧-٢) خلية أكسيجين جوي قلوية.

تمرينات

١ - صف التركيب الأساسي لخلية ما.

٢ - ماذا يقصد بالتآكل الكيميائي الكهربائي؟

٣ - ما هي العوامل التي تعتمد عليها قيمة الجهد المولد من خلية ما؟

٤ - وضح الفرق بين جهد الأطراف والجهد المسلَّط.

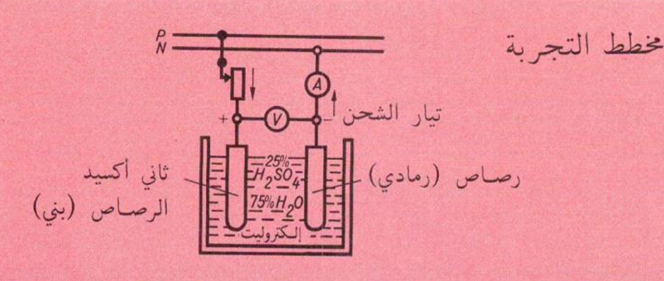
٤-٤ المراكم

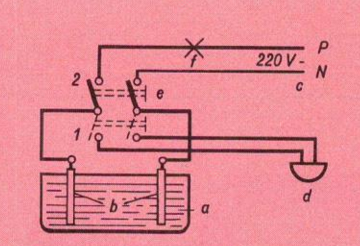
تستخدم المراكم لتخزين وإعطاء الطاقة، وأثناء عملية الشحن تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية، وعند التفريغ تتحول الطاقة الكيميائية المختزنة إلى طاقة كهربائية.

٤-٤-١ المركم الرصاصي - تكوّن أبسط الخلايا المركمية من لوحين من الرصاص مغمورين في حامض الكبريتيك المخفف

يصبح جهد هذه الخلية 2V بتدفق التيار (في عملية الشحن).

مخطط التجربة





ينشأ تركيز متباين لحاملات الشحنات دائرة الشحن (الجهد) أثناء الشحن.

التجربة ٣١ تصلح خلية الرصاص المملوءة بحامض الكبريتيك المخفف كمركم.

a = إناء زجاجي به حامض كبريتيك مخفف
b = لوحان نظيفان من الرصاص
c = مصدر جهد مستمر (من 65 V إلى 220 V)
d = جرس يعمل بالتيار المستمر
e = مفتاح
f = مصباح إضاءة

خطوات العمل: ١ - المفتاح في الوضع 1
٢ - المفتاح في الوضع 2 (شحن)
٣ - المفتاح في الوضع 1 (تفريغ)
٤ - المفتاح في الوضع 2 (شحن)
٥ - لاحظ لون اللوحين بعد الشحن والتفريغ عدة مرات.

المشاهدة: في الخطوة (١) لا يدق الجرس
في الخطوة (٢) يتصل اللوحان بجهد المنبع لفترة وجيزة
في الخطوة (٣) يدق الجرس لفترة وجيزة
في الخطوة (٤) تتكرر العملية
في الخطوة (٥) يأخذ المهبط لونا رماديا فاتحا بالتدريج والمصعد لونا بنيا (تكوين الألواح).

النتيجة: تختزن طاقة كهربائية وتعطى ثانية عند التشغيل.

بغمر ألواح الرصاص في حامض الكبريتيك المخفف (H_2SO_4) تتغطّى هذه الألواح بطبقة من كبريتات الرصاص ($PbSO_4$). ويحدث استقطاب للألواح الرصاصية عند توصيلها بجهد كهربائي. وفي هذه الحالة تنتقل أيونات SO_4 السالبة من المحلول إلى المصعد وأيونات H الموجبة إلى المهبط.

التفاعل الكيميائي:

الشحن: المصعد: $PbSO_4 + SO_4 + 2\,H_2O \rightarrow PbO_2 + H_2SO_4$

المهبط: $PbSO_4 + H_2 \rightarrow Pb + H_2SO_4$

يتكون أكسيد الرصاص البني (PbO_2) على المصعد ورصاص معدني (Pb) على المهبط، وفي نفس الوقت ينقص ماء (H_2O) من المحلول ويتكون حامض الكبريتيك (H_2SO_4) ويصبح الإلكتروليت أكثر تركيزا.

إذا ما تحول كل $PbSO_4$ بالمصعد إلى PbO_2، وكل $PbSO_4$ بالمهبط إلى Pb، تصبح الخلية مشحونة وبعد فصل تيار الشحن يعطي اللوحان، اللذان أصبحا الآن مختلفين كيميائيا، جهدا يبلغ حوالي 2 V.

وعند التفريغ يسري التيار في اتجاه معاكس لتيار الشحن، وتنتقل أيونات SO_4 السالبة من المحلول إلى المهبط (Pb)، وأيونات H الموجبة إلى المصعد (PbO_2). وأثناء ذلك تحدث التفاعلات الكيميائية التالية:

التفريغ : المصعد : $PbO_2 + 2\,H + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2\,H_2O$

المهبط : $Pb + SO_4 \rightarrow PbSO_4$

وتعود الألواح ثانية إلى حالتها الأصلية . ويزول حامض الكبريتيك المتكون أثناء الشحن ويتكون الماء المختفي مرة أخرى .

ولا يمكن أن تستمر عملية التفريغ حسب الرغبة . إذ إن أكسيد الرصاص في اللوح الموجب والرصاص في اللوح السالب يتحولان إلى كبريتات الرصاص ، وبذلك يصبح جهد خلية المركم صفرا . فلا يمكن سريان التيار خلال المركم لأن كبريتات الرصاص غير موصلة عمليا ، ولذا يسمح بالتفريغ حتى جهد تفريغ قدره 1,83 V فقط .

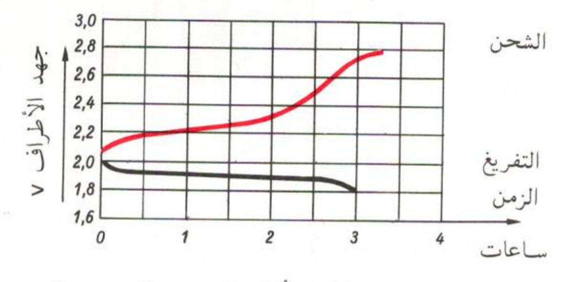
٤-٤-٢ الأنواع المختلفة للمراكم الرصاصية في التطبيقات العملية

تزداد سعة الشحن للخلية كلما زاد نطاق التفاعل الكيميائي عند الشحن ، ولذا تستخدم أقطاب رصاصية ذات شكل شبكي بدلا من الألواح الرصاصية المعتادة ، حيث يضغط خلالها الرصاص أو أكسيد الرصاص المسامي التكوين ، فتحدث بذلك التفاعلات الكيميائية ليس فقط على أسطح الألواح ، ولكن أيضا في داخلها . ويمكن تحقيق نفس الهدف بواسطة ألواح ذات مساحات سطحية كبيرة وألواح صندوقية (شكل ١٠٠-١ ح ، ط ، ي) . ولزيادة السعة تتكون كل خلية من عدة ألواح موجبة وسالبة متصلة ببعضها البعض بحيث يقع كل لوح موجب بين لوحين سالبين . وهكذا نمنع حدوث التغير الكيميائي في جانب واحد ، وبذلك نمنع تحديب القطب الموجب .

٤-٤-٣ قياس سعة خلية المركم بالأمبير ساعة (Ah)

يقصد بكلمة سعة عدد الأمبير ساعة (Ah) التي يمكن أن تعطيها خلية مشحونة إلى أن يهبط جهدها إلى نحو 1,83 V (شكل ٩٩-١) . فمركم ذو سعة 100 Ah يعطي مثلا 25 A لمدة أربع ساعات ، وتعتمد السعة على مقدار تيار التفريغ ، فكلما صغر التيار زادت السعة .

مثال : تبلغ السعة أثناء التفريغ
في ساعة 70%
في ساعتين 89%
في ثلاث ساعات 100%
في خمس ساعات 115%
في عشر ساعات 133% من السعة
عند التفريغ في 3 ساعات

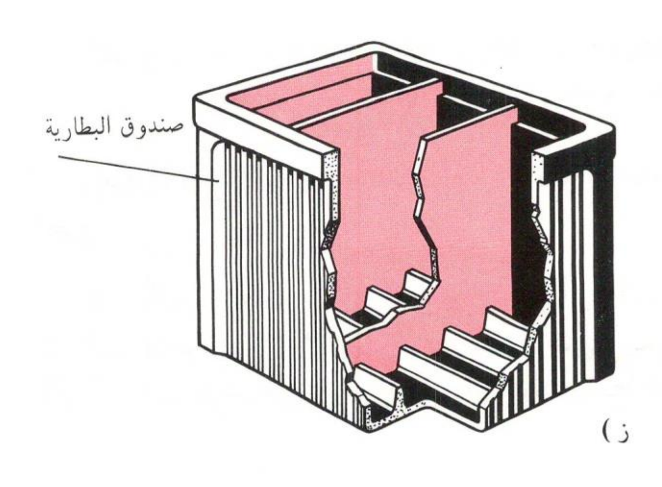


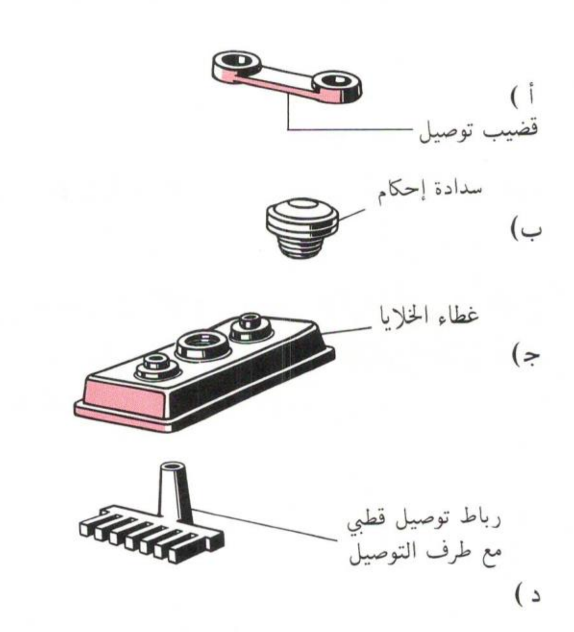
٩٩ - ١ منحنى الجهد أثناء الشحن والتفريغ . التفريغ والشحن في ثلاث ساعات بأعلى تيار شحن مسموح به .

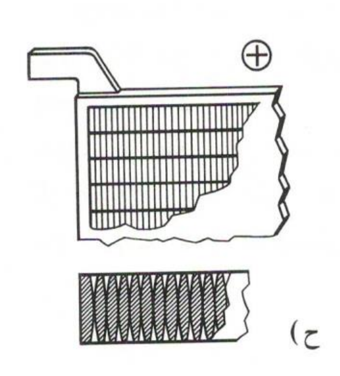
لذلك يضمن المنتج سعة محدَّدة للمركم لتيار تفريغ محدَّد .

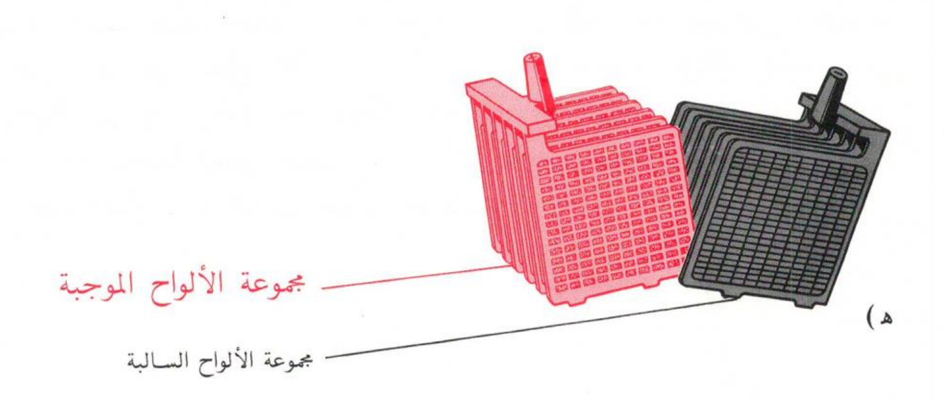
٤-٤-٤ كفاية الأمبير ساعة وكفاية الواط ساعة للمركم

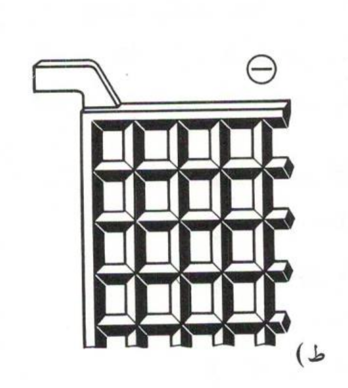
لا يمكن لأي مركم أن يعيد أثناء التفريغ كل الطاقة الكهربائية المبذولة أثناء الشحن ، حيث يتحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى حرارة عند الشحن والتفريغ في داخل المركم (صفحة ١٠١) .

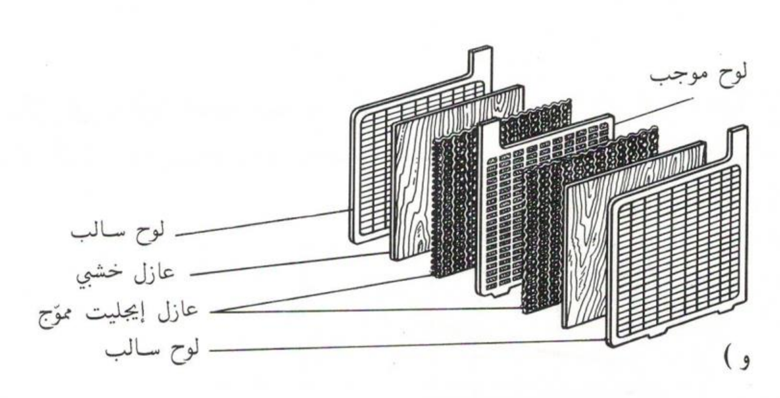












١٠٠ - ١ تركيب مركم بادئ التشغيل وأنواع مختلفة من الألواح .

أ) توصل أطراف التوصيل لمجموعتي الألواح الموجبة والسالبة باستخدام قضبان وبذلك توصل الخلايا على التوالي .

ب) تقوم السدادة الملولبة بغلق فتحة ملء الحامض في غطاء الخلية ، وتستخدم كذلك للتهوية .

ج) تغطى كل خلية بغطاء .

د) تتماسك كل مجموعة بواسطة وصلات للأقطاب حيث يبرز طرف التوصيل إلى أعلى .

هـ) توضع الألواح الموجبة والسالبة أثناء تركيب الخلية متداخلة مع بعضها البعض .

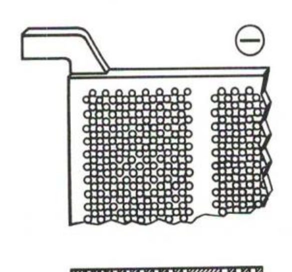
و) تجرى حماية الألواح ضد دائرة القصر بواسطة عوازل خاصة .

ز) يكون لصندوق البطارية ذي الخلايا المنفردة قاع مضلع لتخزين مرسبات الرصاص ،وبذلك يتجنب حدوث دائرة قصر .

ح) لوح ذو مساحة سطحية كبيرة .

ط) لوح شبكي .

ى) لوح صندوقي .



كفاية الأمبير ساعة (كفاية التيار)

$$\eta_{Ah} = \frac{\text{Ah المستفادة}}{\text{Ah المعطاة}} \quad (\eta_{Ah} \approx 0{,}9 = 90\%)$$

كفاية الواط ساعة (كفاية الطاقة)

$$\eta_{Wh} = \frac{\text{الطاقة المستفادة Wh}}{\text{الطاقة المعطاة Wh}} \quad (\eta_{Wh} \approx 0{,}7 = 70\%)$$

تكون كفاية الأمبير ساعة أعلى من كفاية الواط ساعة، لأن الجهد اللازم للشحن أعلى من الجهد الذي يولّده المركم أثناء التفريغ.

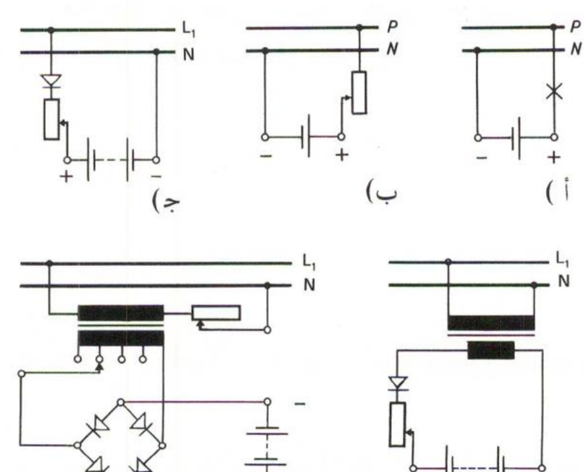
٤-٤-٥ تأثير تطبيق تعليمات الشحن والصيانة على عمر المركم

يسمح باستخدام التيار المستمر فقط لشحن البطارية. ويوصل القطب الموجب للبطارية بالقطب الموجب لمصدر جهد الشحن (شكل ١٠١-١). كما يجب - بالإضافة إلى ذلك - الإنتباه إلى عدم تجاوز تيار الشحن المحدد من المصنع.

قاعدة تقريبية: تيار الشحن = $1/_{10}$ قيمة السعة.

مثال: يمكن شحن مركم ذي 50 Ah بتيار 5 A.

في حالة التيار الكبير جدا تكون الغازات المتولدة قوية جدا لدرجة أنها تقتلع أجزاء دقيقة من اللوح. لذلك فمن المستحسن عند بدء تولّد الغازات (2,4 V) تخفيض تيار الشحن. وينتهي الشحن عند تولّد الغازات بقوة عند كل الألواح الموجبة والسالبة (2,7 V). وعندئذ لا يزداد تركيز الحامض ولا يرتفع الجهد. وتتكوّن بلورات كبريتات الرصاص (كبرتة الألواح) إذا ما شحنت الألواح مرارا شحنا غير كاف، أو تُركت غير مشحونة لمدة طويلة. ولا يمكن تحويل تلك البلورات بشحن المركم من جديد. وتتحدد حالة الشحن لخلية ما تبعا للمحتوى الحامضي للإلكتروليت. إذ إن الخلية المشحونة تحتوي على حامض أكثر تركيزا أي أكثر كثافة منه في الخلية غير المشحونة. ويستخدم مكثاف السوائل (الهيدرومتر) لقياس الثقل النوعي في التطبيق العملي وهو جسم عائم بمقياس معاير (شكل ١٠٢-١)، والذي يغوص لعمق أكبر كلما خف السائل. ويوضح شكل (١٠٢-٢) مقياسا لكثافة الأحماض بطريقة كهربائية.



١٠١ - ١ دوائر شحن بسيطة

أ) يكفي استخدام مصباح إضاءة قدرته من 15 W إلى 25 W كمحدد للتيار في حالة المراكم الصغيرة.

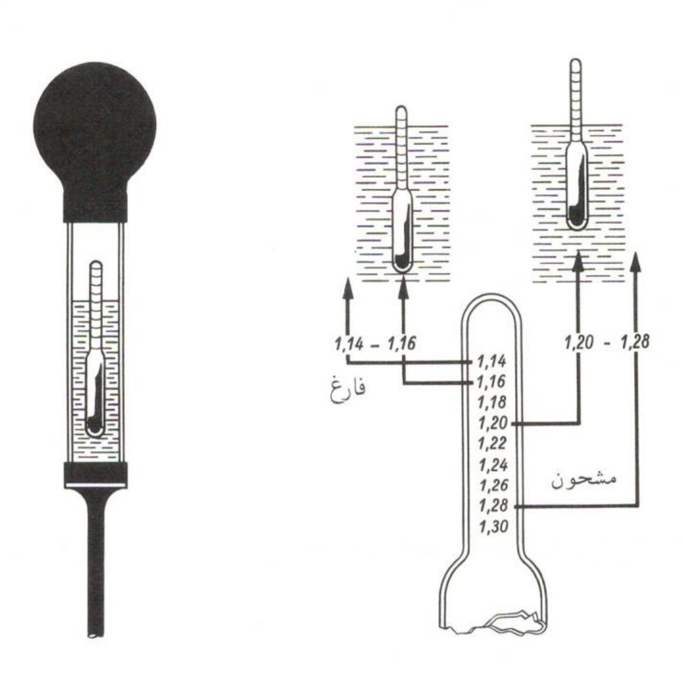
ب) مقاومة متغيرة لتحديد تيار الشحن.

ج) شحن بالتوصيل بمصدر تيار متردد باستعمال مقوم نصف موجة مع مقاومة متغيرة.

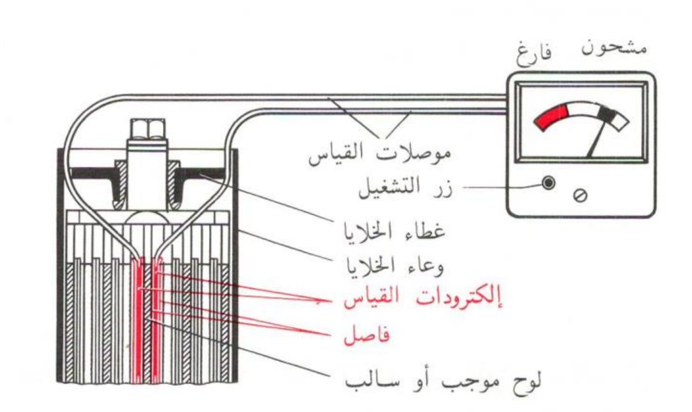
د) محول ومقوم ومقاومة لضبط تيار الشحن.

هـ) مقاومة ضبط متغيرة موصلة بمصدر التيار ومحول ذو درجات ودائرة تقويم قنطرية.

١٠٢ - ١ مكثاف السوائل (هيدرومتر). يتم سحب الحامض بواسطة الكرة المطاطية إلى داخل أنبوبة زجاجية بها عوامة. وتغوص العوامة بعمق معين تبعا لكثافة الحامض، وتقرأ الكثافة على التدريج.



١٠٢ - ٢ مقياس كهربائي لكثافة الأحماض. طريقة العمل: عندما تغمس مادتان مختلفتان من السلسلة الكهروكيميائية (إلكترودات قياس) في إلكتروليت ما فإنهما تعطيان جهدا يزيد أو ينقص تبعا لكثافة الحامض.



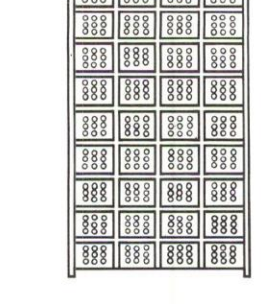
ولا تعطي الخلية المشحونة سعتها كاملة إلا إذا لم يتعد تيار التفريغ قيمته المحددة من المصنع. ويطول عمر الخلية إذا ما استعمل ماء مقطر وأحماض نقية كيميائيا (الكثافة ϱ=1,18 kg/dm^3) عند استكمال (زيادة) مستوى الإلكتروليت. ويلزم استخدام قمع زجاجي للملء.

ملاحظة: تحذير. عند تحضير حامض الكبريتيك لا يضاف الماء على الحامض بأي حال من الأحوال، وإنما العكس دائما. استعمل نظارة واقية.

٤-٤-٦ مركم النيكل والحديد - مركم إديسون (Edison مخترع أميريكي ١٨٤٧-١٩٣١).

تصنع هذه المراكم (مراكم Ni–Fe) بالكامل من ألواح من الفولاذ مطلية بالنيكل، ولذلك توجد لها مقاومة عالية للإتلاف الخارجي. وتستخدم الألواح الموجبة والسالبة المصنوعة من الفولاذ المنكّل فقط كحاملات للكتلة الفعالة، التي

توضع في جيوب صغيرة مثقوبة أو أنابيب صغيرة مصنوعة من الصاج المطلي أيضا (شكل ١٠٣-١) . وتحتوي الألواح السالبة على حشو من أكسيد الحديد المسحوق، في حين تحتوي الألواح الموجبة على حشو من مركّب نيكلي مضافة إليه كمية من الجرافيت . ويستخدم محلول بوتاس ذو تركيز 21% (الكثافة = 1,2 kg/dm³) كإلكتروليت، ويبلغ الجهد المتوسط للخلية 1,2 V ، وأصغر جهد تفريغ 1 V .



١٠٣ - ١ لوح يحتوي على جيوب لمركم النيكل والحديد .

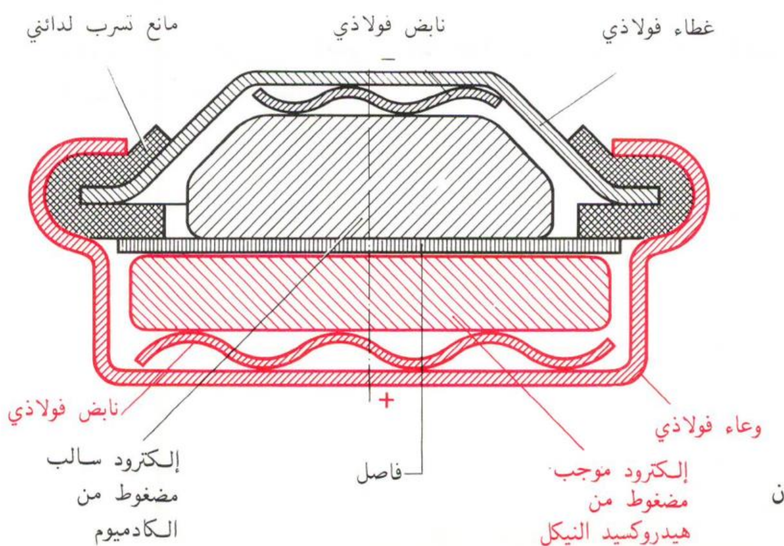
مركم النيكل كادميوم. يتكون الإلكترود الموجب في حالته غير المشحونة في مركم النيكل والكادميوم من هيدروكسيد النيكل . وتتكون الكتلة الفعالة للإلكترود السالب في حالتها غير المشحونة من هيدروكسيد الكادميوم الذي يتحول بالشحن إلى كادميوم مجزأ تجزيئا دقيقا .

ويجب ملاحظة أن إناء الخلية (الفولاذي) يقع تحت تأثير الجهد الكهربائي بفعل الإلكتروليت . لذا يراعى عند تجميع البطارية أن تعزل الخلايا عن بعضها البعض عزلا جيدا . وبالإضافة إلى ذلك فإنه لا يمكن اختبار حالة الشحن في الخلية بواسطة هيدرومتر، لأن الإلكتروليت يظل في حالتي الشحن والتفريغ كما هو دون تغيير . ويجب وضع المراكم في حجرات نظيفة وجيدة التهوية . ولا يسمح بالدخول بشعلة مكشوفة إلى حجرات المراكم (الغازات المتولدة قابلة للإنفجار، إذ أنها خليط من الأكسيجين والهيدروجين) . ولما كان حامض الكبريتيك يتلف مراكم النيكل والحديد فإنه لا يسمح بوضعها في حجرات بها مراكم رصاص .

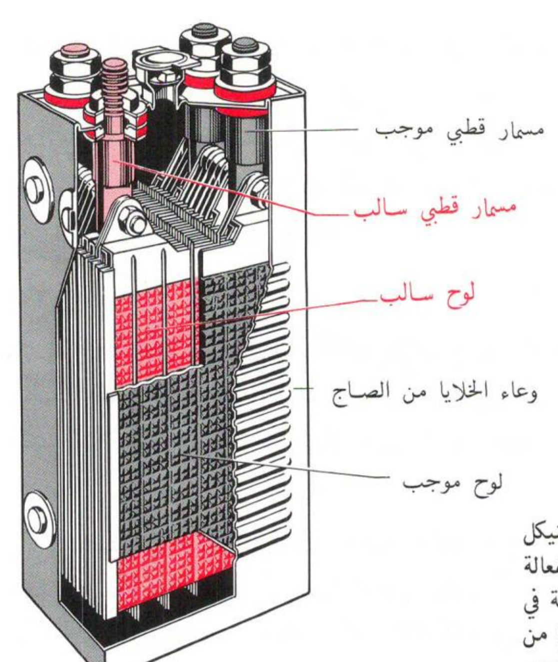
خلايا النيكل والكادميوم المحكمة ضد الغاز (شكل ١٠٣-٢). تصمم الخلايا في حجم الزر وتكون محكمة الإغلاق بحيث لا يتكون غاز الهيدروجين. اما الاكسيجين المتكون فيستخدم ثانية في نفس المركم وبذلك يتم تلافي تكوُّن غازات متفجرة . ولذا لا يسمح بتخطي تيار الشحن المحدد .

مزايا المراكم الفولاذية: عمر طويل، تحمُّل ميكانيكي جيد، وعدم التأثُّر بدائرة القصر وبتيارات الشحن والتفريغ المرتفعة وعدم تأثر الألواح إذا خزِّنت غير مشحونة لمدة طويلة وعدم تولد أبخرة حامضية، فضلا عن أن الإلكتروليتات عديمة الرائحة .

العيوب : تكاليفها مرتفعة وكفايتها منخفضة $\eta_{Ah}=0,75;\ \eta_{Wh}=0,55$. يبلغ جهد الخليّة 1,2 V فقط .



١٠٣ - ٢ مقطع في خلية محكمة للغاز بشكل زر . يحاط الإلكترودان بشبكة من النيكل .



١٠٤ - ١ يتركب اسم مركم النيكل والحديد (Ni - Fe battery) من الرمزين الكيميائيين للمعدنين النيكل (Ni) والحديد (Fe). يكوّن هذان المعدنان المادة المنتجة للطاقة أو ما يسمى بالمادة الفعالة للمركم. وقد استبدل الحديد بالكادميوم (Cd) على نطاق واسع. وتوضع المادة الفعالة في جيوب على هيئة شرائط فولاذية مثقوبة كما تصنع كل القطع الداخلة في تكوين المركم من الفولاذ. يتكون الإلكتروليت من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم نسبة تركيزه 20%، وتنحصر وظيفة هذا الإلكتروليت - أثناء عمليتي الشحن والتفريغ - في توصيل التيار فقط.

تمرينات :

١ - كيف يمكن تحديد حالة الشحن لمركم رصاص ؟

٢ - تقع المقاومة الداخلية لخلية مركم رصاص في الحدود من 0,1 Ω/Ah إلى 0,2 Ω/Ah ، كم يبلغ مقدارها في خلية ذات 25 Ah ؟

٣ - يلزم إستخدام بطارية من مراكم رصاصيّة لوحدة تيار طوارئ 220 V . كم خلية يلزم وضعها، إذا كان أعلى جهد شحن للخلية هو 2,7 V وأصغر جهد تفريغ هو 1,83 V؟

٤ - كم تبلغ شدة تيار دائرة القصر في خلية مركم رصاص، إذا كانت المقاومة الداخلية 0,002 Ω ؟

٥ - لماذا لا يسمح إلا باستخدام الماء المقطر لتكملة (زيادة) ملء المركم الرصاصي؟

٦ - ما الذي يجب أن يحدث إذا بين مكثاف السوائل قيمة أصغر من اللازم في الحالة المشحونة؟

٧ - ما هي مزايا وعيوب المراكم الفولاذية؟

٨ - تغذّي بطارية مركم رصاصي سعتها 27 Ah ليلا ونهارا مرحّل (متمّم) تيار السكون بتيار شدته 50 mA بعد كم ساعة يجب إعادة شحن البطارية؟

٥ - توصيل مصادر الجهد الكهربائي المستمر

٥-١ الجهد المسلّط والمقاومة الداخلية لمصدر الجهد

٥-١-١ الدائرة الكهربائية ومصدر الجهد

إذا ما حمّل مصدر جهد مثل خلية جافة أو خلية مركم (كالمبين في شكل ١٠٥-١ بالدائرة المكافئة) - بمقاومة خارجية R_{ex}، فإن الإلكترونات تسري باستمرار من القطب السالب لمصدر الجهد عبر R_{ex} إلى القطب الموجب. ولإستمرار مرور تيار في دائرة مغلقة يقتضي الأمر أن تصل الإلكترونات إلى القطب السالب ثانية بداخل مصدر الجهد. ويلاقي مسار الإلكترونات مقاومة مثل أي مسار للتيار داخل مصدر الجهد. وتسمى هذه المقاومة التي تحدث داخل مصدر الجهد بالمقاومة الداخلية R_i.

ملاحظة: يسمى الجهد المتولد من مصدر للجهد بجهد المصدر U_{source} أو U_o الجهد المسلط.

٥-١-٢ الجهد المسلط وجهد الأطراف

بالمقارنة بالجهد المسلط U_o يسمى الجهد بين الطرفين P و N بجهد الأطراف U، والذي يقل عن الجهد المسلط U_o عند تحميل مصدر الجهد بمقدار هبوط الجهد الداخلي $U_i=I \cdot R_i$، ذلك أنه يجب أن يمر نفس التيار المار في المقاومة الخارجية R_{ex}، في المقاومة الداخلية R_i أيضا حيث أن المقاومتين R_{ex} و R_i موصّلتين على التوالي.

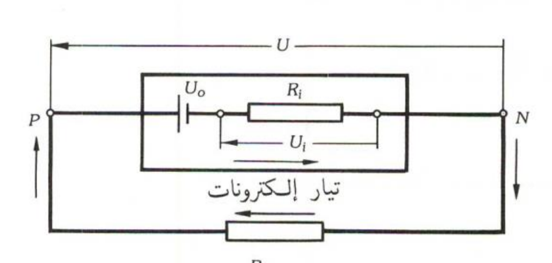
وفي حالة عدم التحميل يكون U عمليا مساويا للجهد المسلط U_o.

$$R_i = \frac{U_o - I \cdot R_{ex}}{I}$$

$$I = \frac{U_o}{R_{ex} + R_i}$$

$$U_o = U + I \cdot R_i$$

$$U = U_o - I \cdot R_i$$



١٠٥ - ١ الدائرة المكافئة لمصدر الجهد. يمكن تصوّر وجود جهد مُسلّط U_o ومقاومة داخلية R_i بداخل مصدر الجهد.

مثال : ما مقدار جهد الأطراف لمصدر جهد يكون به $U_o = 1{,}5\ V$ و $R_i = 0{,}15$ إذا حُمِّل بتيار شدته $0{,}1\ A$؟

المعطيات : $U_o = 1{,}5\ V;\ R_i = 0{,}15\ \Omega;\ I = 0{,}1\ A$

المطلوب : حساب جهد الأطراف U بوحدة (V) .

الحل : $U = U_o - I \cdot R_i = 1{,}5\ V - 0{,}1\ A \cdot 0{,}15\ \Omega = 1{,}485\ V$

تمرينات

١ – ما هو مقدار القدرة المستهلكة في مقاومة خارجية $R_{ex} = 10\ \Omega$ ، إذا ما اتصلت بمصدر جهد $U_o = 4{,}5\ V$ و $R_i = 0{,}5\ \Omega$؟

٢ – ما مقدار المقاومة الداخلية لخلية جهدها المسلط $U_o = 1{,}5\ V$ وعند تحميلها بتيار شدته $0{,}2\ A$ ظهر جهد أطراف قدره $U = 1{,}4\ V$؟

٥–٢ البطارية

تتكون البطارية من خليَّتين أو أكثر موصلة معا .

٥–٢–١ التوصيل على التوالي لمصادر الجهد

في التوصيل على التوالي يوصل القطب الموجب لمصدر الجهد الأول بالقطب السالب لمصدر الجهد الثاني وهكذا (شكل ١٠٦–١) ويكون الجهد المسلط الكلي مساويا لمجموع الجهود المسلطة الجزئية .

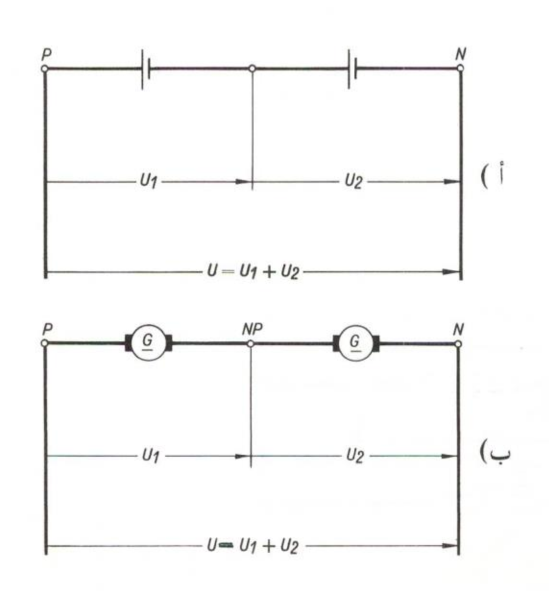
$$U_o = U_{o1} + U_{o2} + \cdots U_{on}$$

كذلك فإن :

$$U = U_1 + U_2 + \cdots U_n$$

المقاومة الداخلية الكلية R_i تساوي مجموع المقاومات الداخلية (شكل ١٠٦–٢) .

$$R_i = R_{i1} + R_{i2} + \cdots R_{in}$$



١٠٦ – ١ توصيل مصادر الجهد على التوالي .
أ) توصيل خليتين جافتين أو خليتي مركم على التوالي .
ب) توصيل مولدي تيار مستمر على التوالي .

١٠٦ – ٢ في التوصيل على التوالي تجمع المقاومات الداخلية .

التوصيلة	U_o	R_i
(خلية واحدة، I)	1,5 V	0,2 Ω
(خليتان على التوالي، I)	3 V	0,4 Ω
(ثلاث خلايا على التوالي، I)	4,5 V	0,6 Ω

ملاحظة : يستخدم التوصيل على التوالي إذا كانت أعلى قيمة مسموح بها لسحب التيار من أحد مصادر الجهد كافية بينما يحتاج الأمر إلى جهد أعلى مما يمكن أن يعطيه مصدر جهد منفرد . ويكون التوصيل على التوالي فقط لمصادر الجهد التي لها مقاومات داخلية متساوية ونفس تيار التحميل بقدر الإمكان .

مثال : وُصِّلت خليتان جافتان لهما $U_o=1,5\ V$ و $R_i=0,25\ \Omega$ على التوالي ، إحسب شدة تيار التحميل إذا كانت $R_{ex}=1\ \Omega$

المعطيات : $U_{o1}=1,5\ V;\ U_{o2}=1,5\ V;\ R_{i2}=0,25\ \Omega;\ R_{i1}=0,25\ \Omega;\ R_{ex}=1\ \Omega$

المطلوب : حساب شدة تيار التحميل I بوحدة (A)

الحل : $U_o=U_{o1}+U_{o2}=3\ V;\ R_i=R_{i1}+R_{i2}=0,5\ \Omega;\ I=\frac{U_o}{R_{ex}+R_i}=\frac{3\ V}{1,5\ \Omega}=2\ A$

٥-٢-٢ التوصيل على التوازي لمصادر الجهد

في التوصيل على التوازي توصل كل الأقطاب الموجبة مع بعضها البعض والسالبة مع بعضها البعض . ويظل الجهد المسلّط وكذلك جهد الأطراف متساويا إذا ما وصلت على التوازي مصادر جهد لها نفس جهد الأطراف (شكل ١٠٧-١) .

$$U=U_1=U_2=\cdots U_n$$

$$U_o=U_{o1}=U_{o2}=\cdots U_{on}$$

المقاومات الداخلية موصَّلة على التوازي (شكل ١٠٧-١)

$$\frac{1}{R_i}=\frac{1}{R_{i1}}+\frac{1}{R_{i2}}+\cdots\frac{1}{R_{in}}$$

في التوصيل على التوازي يفضَّل الحساب بقيم المواصلة .

$$G_i=G_{i1}+G_{i2}+\cdots G_{in}$$

يمكن سحب تيار تحميل أعلى لأن كل مصدر جهد يشارك في التيار الكلي المار في خط تغذية الحمل (شكل ١٠٧-٢) .

$$I=I_1+I_2+\cdots I_n$$

١٠٧ - ١ توصيل مصادر الجهد على التوازي .
أ) الخلايا
ب) مولدات تيار مستمر .

١٠٧ - ٢ في التوصيل على التوازي تجمع مواصلات المقاومات الداخلية .

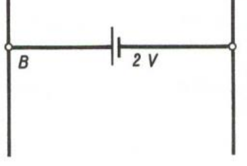
التوصيلة	U_o	R_i
I	1,5 V	0,2 Ω
$I=I_1+I_2$	1,5 V	0,1 Ω
$I=I_1+I_2+I_3$	1,5 V	0,066 Ω

أ) $U_o=U_{o1}=U_{o2}$

ب) $U_o=U_{o1}=U_{o2}$

ملاحظة : يستخدم التوصيل على التوازي إذا كان جهد الأطراف لأحد مصادر الجهد كافيا ، بينما شدة التيار الخارج منه لا يكفي لدفع التيار اللازم في الموصل . وتوصل فقط مصادر الجهد التي لها نفس الجهود المسلَّطة على التوازي ، وإلا سرت تيارات معادلة من مصدر جهد إلى آخر . أما في حالة تساوي الجهود المسلطة وإختلاف المقاومات الداخلية ، يُحمَّل مصدر الجهد ذو المقاومة الأصغر بأكبر نصيب من التيار الكلي .

مثال ١ : إحسب شدة التيار المعادل الساري في الدائرة المفتوحة ، إذا كان (شكل ١٠٨–١) $R_{i1}=0{,}2\,\Omega;\ R_{i2}=0{,}2\,\Omega$ $U_{o1}=1{,}2\text{ V};\ U_{o2}=2\text{ V};$ ؟



١٠٨ – ١ رسم مثال ١ .

الحل : $I=\dfrac{U_{o2}-U_{o1}}{R_{i1}+R_{i2}}=\dfrac{0{,}8\text{ V}}{0{,}4\,\Omega}=2\text{ A}$

مصدر الجهد A : $U>U_o$ ، أي أنه في الدائرة المفتوحة يكون جهد الأطراف لمصدر الجهد ذي الجهد المسلّط الأصغر أعلى من جهده المسلَّط .

مصدر الجهد B : $U<U_o$.

مثال ٢ : وصل مصدران للجهد على التوازي كل منهما له $U_o=2\text{ V}$ و $R_i=0{,}02\,\Omega$ ما هي شدة التيار الساري عند التحميل بمقاومة $R_{ex}=10\,\Omega$ ؟

المعطيات : $U_{o1}=2\text{ V};\ U_{o2}=2\text{ V};\ R_{i1}=0{,}02\,\Omega;\ R_{i2}=0{,}02\,\Omega;\ R_{ex}=10\,\Omega$

المطلوب : حساب شدة التيار (I) بالأمبير .

الحل : $G_i=G_{i1}+G_{i2}=50\text{ S}+50\text{ S}=100\text{ S};\ R_i=\dfrac{1}{100}\Omega;\ I=\dfrac{U_o}{R_{ex}+R_i}=\dfrac{2\text{ V}}{10{,}01\,\Omega}=0{,}199\text{ A}$

٥–٢–٣ التوصيل على التوالي والتوازي لمصادر الجهد (التوصيل المركب أو التوصيل المختلط)

يستخدم التوصيل على التوالي لمصادر جهد متصلة على التوازي ، إذا لزم جهد أعلى وتيار أكبر مما يمكن أن يعطيه مصدر جهد منفرد ، وتحسب R_i طبقا لقوانين التوصيل المختلط .

مثال : وصلت بطارية كما هو مبين في شكل (١٠٨–٢) ، فما هي شدة التيار المار في موصل التغذية ، إذا كانت $R_{ex}=19^2/_3\,\Omega$ ولكل خلية القيم $R_i=0{,}5\,\Omega,\ U_o=1{,}5\text{ V}$

المعطيات : $U_o=1{,}5\text{ V};\ R_i=0{,}5\,\Omega;\ R_{ex}=19^2/_3\,\Omega$

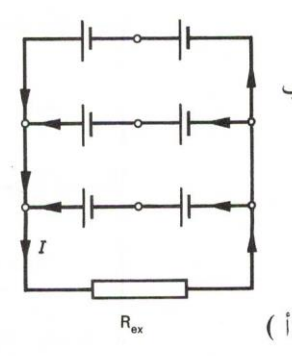
المطلوب : حساب شدة التيار (I) بالأمبير .

الحل : أ) تجمع أولا المقاومات الداخلية الموصلة على التوالي .

$$R_{iI}=R_{i1}+R_{i2}=1\,\Omega;\ R_{iII}=R_{i3}+R_{i4}=1\,\Omega;\ R_{iIII}=R_{i5}+R_{i6}=1\,\Omega$$

ب) المقاومات الداخلية R_{iI} ، R_{iII} ، R_{iIII} موصلة على التوازي .

$$G_i=1\text{ S}+1\text{ S}+1\text{ S}=3\text{ S};\ R_i=\frac{1}{3}\Omega;\ I=\frac{U_o}{R_{ex}+R_i}=3\text{ V}\div 20\,\Omega=0{,}15\text{ A}$$



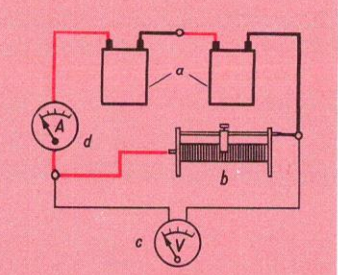
أ)

التوصيلة	U_o	R_i
I	1,5 V	0,2 Ω
I_1 $I=I_1+I_2$ I_2	3 V	0,2 Ω
I_1 $I=I_1+I_2$ I_2	4,5 V	0,3 Ω

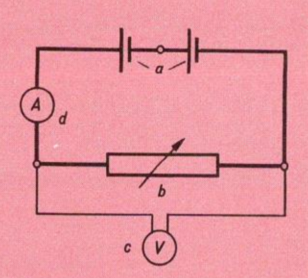
ب)

١٠٨ – ٢ أ) التوصيل المركّب (المختلط) لخلايا أو لخلايا المركم .
ب) الجهود والتيارات والمقاومات الداخلية للتوصيل المركّب (المختلط) .

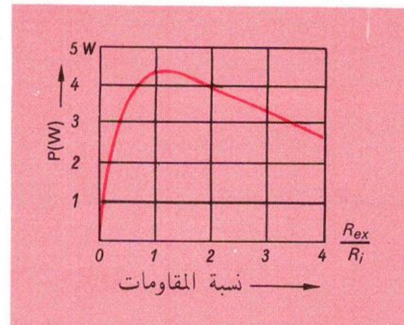
٥-٢-٤ المواءمة الصحيحة بين مصدر الجهد والمقاومة الخارجية



مخطط التجربة



الرسم التخطيطي للدائرة



منحنى العلاقة بين القدرة ونسبة المقاومات

التجربة ٣٢ تتحقق المواءمة الصحيحة عندما تكون $R_{ex}=R_i$

التجهيزات : a = خليتان لكل منهما $R_i=0{,}25\,\Omega$, $U_o=1{,}5\,V$

b = مقاومة التحميل $R_{ex}=2\,\Omega$ (مقاومة متغيرة)

c = ڤولطمتر

d = أمبيرمتر

خطوات العمل : ١ - إضبط R_{ex} على درجات متتالية تبلغ كل منها $0{,}1\,\Omega$ وأقرأ في كل وضع قيمتي U و I ودوّنهما في جدول .

٢ - أكمل الجدول واحسب R_{ex}/R_i; $P=U\cdot I$; $R=R_{ex}+R_i$.

٣ - ارسم منحنى العلاقة بين القدرة P ونسبة المقاومات R_{ex}/R_i .

القراءات والحساب :

2	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	R_{ex} (Ω)
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	$R_i=R_{i1}+R_{i2}$ (Ω)
2,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	$R=R_{ex}+R_i$ (Ω)
4	2	1,8	1,6	1,4	1,2	1	0,8	0,6	0,4	0,2	R_{ex}/R_i
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	U_o (V)
2,4	2	1,92	1,85	1,75	1,6	1,5	1,3	1,15	0,85	0,5	U (V)
1,2	2	2,15	2,3	2,5	2,7	3	3,3	3,75	4,3	5	I (A)
2,9	4	4,15	4,25	4,3	4,35	4,5	4,35	4,3	3,65	2,5	P (W)

النتيجة : تستهلك المقاومة الخارجية R_{ex} أعلى قدرة عندما تكون $R_{ex}/R_i=1$ أي أن $R_{ex}=R_i$ وتعرف هذه الحالة بالمواءمة .

تمرينات

١ - إرسم منحنى العلاقة بين الجهد والتيار لمصدر الجهد في التجربة ٣٢ (U رأسيا و I أفقيا) . طريقة الحل : $U_o=3\,V$ وتيار قصر الدائرة $I_o=U_o\div R_i$ هما أعلى القيم .
خذ القيم الأخرى لكل من U و I من نتيجة التجربة .

٢ - ما اسم منحنى العلاقة الناتج؟

٣ - يمكن أيضا أن يستخلص من التجربة (٣٢) أنه يمكن الحصول على أعلى قدرة من مصدر الجهد عندما يكون تيار التحميل مساويا لنصف تيار قصر الدائرة . أرسم منحنى العلاقة بين القدرة والتيار (قطع مكافئ) كبرهان .

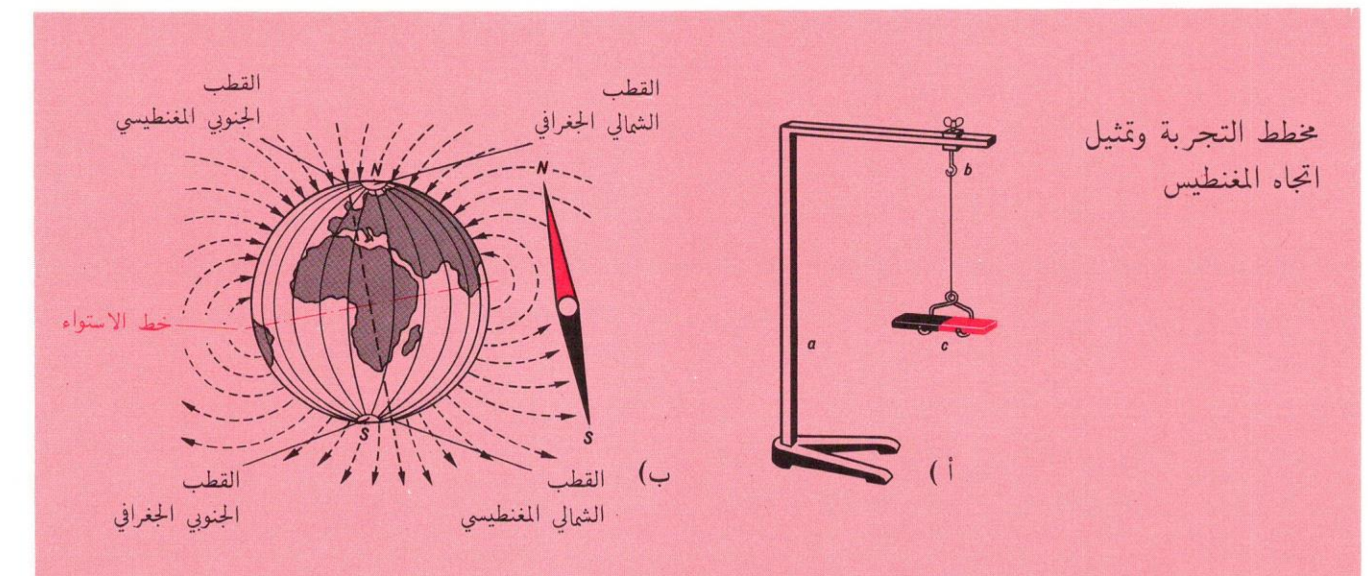
٦ التأثير المغنطيسي للتيار الكهربائي

٦ - ١ المغنطيس الدائم

تسمى قطعة الفولاذ ذات القدرة على جذب الأجزاء الفولاذيّة الواقعة بقربها والإمساك بها مغنطيسا. وتبعا للشكل نميز بين القضيب المغنطيسي ومغنطيس حدوة الحصان والمغنطيس الحلقي والإبرة المغنطيسيّة... إلخ. ويمكن للمغنطيسات الدائمة أن تحتفظ بالمغنطيسية لمدة طويلة دون أن تتغير شدتها، وهي تتكون من سبائك الفولاذ التي تحتوي على كوبلت، نيكل، ألومنيوم، تيتانيوم وكروم... إلخ. وتوجد هذه السبائك في الأسواق بالأسماء التجارية أورستيت، كورسيت، بيرمانيت، ماجنيتوفلكس وتروماليت. إلا أن إحلال مواد مغنطيسية أخرى مثل الألنيكو (Alnico) وفريت الباريوم (انظر صفحة ١٦) محل هذه السبائك أصبح في إزدياد مستمر.

٦-١-١ إتجاه المغنطيس

مخطط التجربة وتمثيل اتجاه المغنطيس



التجربة ٣٣ يتخذ أي مغنطيس دائم معلق وحر الحركة وضعه في اتجاه الشمال والجنوب

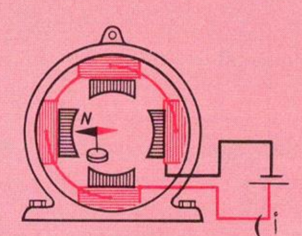
التجهيزات : a = حامل من مادة غير قابلة للمغنطة.
b = تجهيزة التعليق للقضيب المغنطيسي.
c = قضيب مغنطيسي.

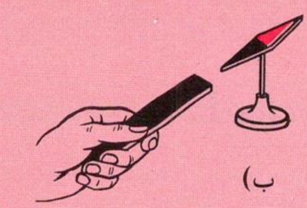
خطوات العمل : يعلق القضيب المغنطيسي بواسطة خيط رفيع من مركز ثقله.

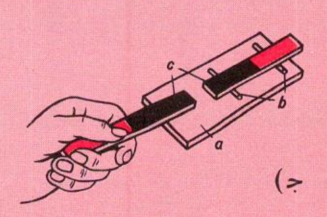
المشاهدة : يتجه القضيب المغنطيسي المعلّق إلى الشمال والجنوب.

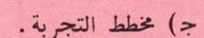
النتيجة : الكرة الأرضية هي ذاتها مغنطيس ضخم، وتؤثر على المغنطيسات الدائمة. ويسمى الطرف المتجه ناحية القطب الجغرافي الشمالي بالقطب الشمالي، وإلى ذلك الذي يشير إلى الجنوب بالقطب الجنوبي. ويقع القطب المغنطيسي والقطب الجغرافي في موضعين مختلفين من سطح الأرض.

٦-١-٢ التأثير المتبادل لمغنطيسين









أ) ضبط القطبية (التوصيل الصحيح للملفات المغنطيسية) في آلة التيار المستمر بواسطة إبرة مغنطيسية.

ب) اختبار ما إذا كانت المادة مغنطيسية أم لا.

ج) مخطط التجربة.

التجربة ٣٤ القانون الأساسي للمغنطيسية

التجهيزات : a = لوح زجاجي.
b = قضيبان مستديران من الزجاج أو من أية مادة عازلة.
c = قضيبان مغنطيسيان.

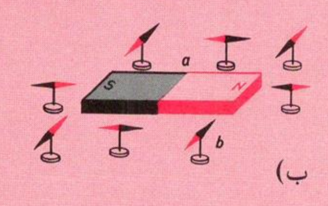
خطوات العمل : ١ - يُقرَّب أولا القطب الجنوبي لمغنطيس متحرك من القطب الجنوبي لمغنطيس آخر، ثم يقرَّب بعد ذلك من قطبه الشمالي.
٢ - تُكرَّر التجربة باستخدام القطب الشمالي للمغنطيس المتحرك.

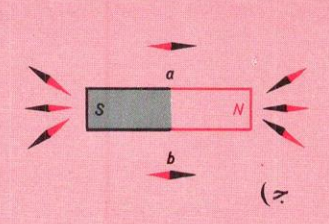
المشاهدة : يحدث تنافر أو تجاذب عندما يقترب المغنطيس المتحرك من مغنطيس آخر.

النتيجة : القانون الأساسي للمغنطيسية : الأقطاب المتشابهة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب.

٦-١-٣ المجال المغنطيسي للمغنطيس الدائم

أ)





أ) تؤثر المجالات المغنطيسية على الإبرة المغنطيسية. لذلك يصنع صندوق البوصلة من النحاس الأصفر أو من البلاستيك (البكاليت).
ب) مخطط التجربة.
ج) نتيجة التجربة.

التجربة ٣٥ يوجد مجال مغنطيسي في الوسط المحيط بالمغنطيس.

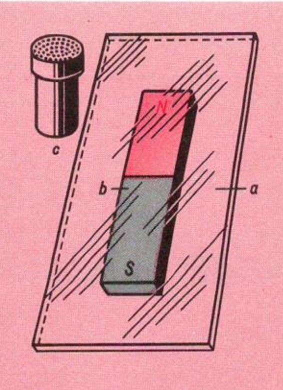
التجهيزات : a = قضيب مغنطيسي.
b = مجموعة إبر مغنطيسية.

خطوات العمل : توضع مجموعة إبر مغنطيسية حول قضيب مغنطيسي.

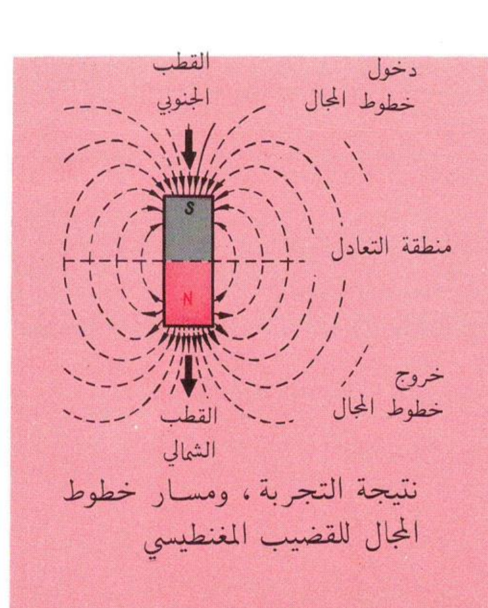
المشاهدة : تتأثَّر الإبر المغنطيسية بالمغنطيس الدائم، وتتخذ كل إبرة مغنطيسية وضعا خاصا.

النتيجة : تحيط منطقة بالمغنطيس يظهر فيها التأثير المغنطيسي وتسمى هذه المنطقة بالمجال المغنطيسي.

مسار خطوط المجال الوهمية
لمغنطيس حدوة الحصان



مخطط التجربة



نتيجة التجربة ، ومسار خطوط المجال للقضيب المغنطيسي

التجربة ٣٦ بيان المجال المغنطيسي بواسطة برادة الحديد .

التجهيزات : a = لوح من الزجاج أو السيلون .
b = قضيب مغنطيسي .
c = برادة حديد .

خطوات العمل :يوضع اللوح فوق القضيب المغنطيسي ثم ترش برادة الحديد عليه .

الملاحظة والنتيجة : تنتظم برادة الحديد بواسطة القوى المغنطيسية في خطوط منحنية متجاورة تصل ما بين القطبين .

يمكن إيضاح مسار المجال المغنطيسي بواسطة خطوط المجال الوهمية . يُمثَّل المجال المغنطيسي في الفراغ بواسطة خطوط المجال ، التي يعطي إتجاهها عند كل نقطة إتجاه تأثير القوة على قطب مغنطيسي .

قاعدة : خطوط المجال هي خطوط مغلقة ، فهي تخرج من القطب الشمالي للمغنطيس وتعود فتدخل عند القطب الجنوبي ، وتسير داخل المغنطيس من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي .

٦-١-٤ تأثير قوة المغنطيسات

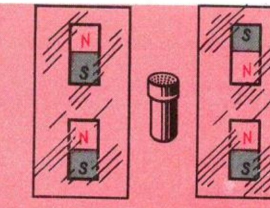
يمكن الإستدلال على نوع تأثير القوة من شكل خطوط المجال المغنطيسي . لهذا نتصور خطوط المجال المغنطيسي الوهمية كخيوط مطاطية مشدودة ومغلقة . وتميل هذه الخطوط إلى أن تصير أقصر طولا حيث تزداد كثافتها . وعلى ذلك يمكن استخلاص الخواص التالية لخطوط المجال :

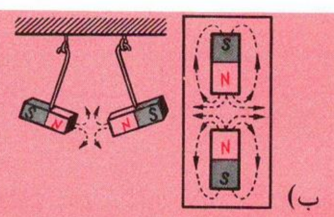
أ) تميل خطوط المجال إلى القصر ، وتنتج عن ذلك قوة شد في اتجاهها الطولي (التجربة ٣٧) .

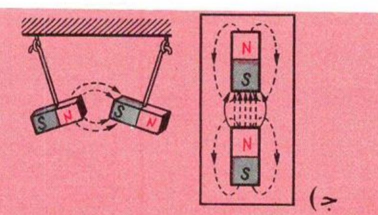
ب) عندما تقصر خطوط المجال تصبح أكثر كثافة وتنتج عن ذلك قوة ضغط في الاتجاه المستعرض (التجربة ٣٧) .

يمكن بواسطة الخاصية الأولى أيضا ، تَصوُّر قوة الشد التي يؤثر بها المغنطيس على قطعة من الحديد .

إذا لم نرغب في الإستعانة بخطوط المجال الوهمية في التوضيح ، يمكن التعبير أيضا عن شد طولي وكذلك ضغط مستعرض في المجال المغنطيسي .







تأثير قوة المغنطيسات

أ) مخطط التجربة . ب) النتيجة : تنحرف خطوط المجال الخارجة من القطب الشمالي وتسير متوازية بجوار بعضها البعض . يتباعد المغنطيسان المتحركان عن بعضهما البعض (قوى الضغط الجانبية لخطوط المجال) . ج) النتيجة : تتجه خطوط المجال من القطب الشمالي لأحد المغنطيسين إلى القطب الجنوبي للمغنطيس الآخر . يتجاذب المغنطيسان المتحركان (قوى الشد في الاتجاه الطولي لخطوط المجال) .

التجربة ٣٧ التأثير المتبادل للمجالات المغنطيسية .

التجهيزات : a = لوح من الزجاج أو السيلون .
b = قضيبان مغنطيسيان .
c = برادة حديد .

خطوات العمل : ١ - يوضع القضيبان المغنطيسيان طبقا للشكل (أ-١) تحت اللوح الزجاجي أو السيلوني ثم ترش برادة الحديد .

٢ - يوضع القضيبان المغنطيسيان طبقا للشكل (أ-٢) تحت اللوح الزجاجي أو السيلوني ثم ترش برادة الحديد .

المشاهدة : تنتظم برادة الحديد وتظهر كيفية تصور مسار خطوط المجال المغنطيسي (شكلا ب ، ج) .

النتيجة : لا تتقاطع خطوط المجال المغنطيسي ، وتكون خطوط المجال المغنطيسي لقطبين مختلفين متصلة .

ملاحظة : يمثِّل المجال المغنطيسي طاقة مختزنة .

نظرا لأن المجال المغنطيسي يمارس تأثيرات القوة فإن له أيضا قدرة على بذل مقدار معين من الشغل (الطاقة) . تبذل هذه الطاقة أثناء تكوين المجال وتطلق ثانية عند تلاشيه .

٦-١-٥ التدفق المغنطيسي وكثافة التدفق المغنطيسي (الحث المغنطيسي)

يسمى المجال المغنطيسي الكلي الذي يخرج من قطب ما بالتدفق المغنطيسي ويرمز له بالرمز Φ ، ووحدته ويبر (Wb) Weber* ويمكن أيضا الرمز للويبر بالڤولط ثانية (Vs)** .

$$1\ Wb = 1\ V \cdot 1\ s = 1\ Vs = 1\ Ws/A = 1\ J/A = 1\ Nm/A$$

والويبر الواحد هو التدفق المغنطيسي الذي يولّد جهدا كهربائيا قدره 1V في لفة ملفوفة حول المجال عند تناقص هذا التدفق بانتظام إلى الصفر في زمن قدره 1s .

كثافة التدفق المغنطيسي هي شدة التدفق المغنطيسي Φ الواقعة على $1\ m^2$ من مساحة المجال A (شكل ١١٤-١) ويرمز لها بالحرف B ووحدتها تسلا (T) Tesla*** .

---

* ويبر Weber ، عالم فيزياء ألماني ١٨٠٤-١٨٩١ .

** سيوضح ، فيما بعد ، السبب في إمكان بيان شدة التدفق المغنطيسي بالوحدات Vs (انظر صفحة ١٣٩) .

*** تسلا Tesla ، عالم فيزياء يوغوسلافي ، ١٨٥٦-١٩٤٣ .

ويساوي التسلا الواحد (T) الكثافة السطحية لتدفق مغنطيسي منتظم قدره 1 Wb يخترق مساحة قدرها 1 m² إختراقا عموديا . $1\ T = 1\ Wb/m^2 = 1\ Vs/m^2$.

يمكن الحصول على قيمة التدفق المغنطيسي Φ بضرب كثافة التدفق المغنطيسي B في مساحة مقطع المجال A .

$$\Phi = B \cdot A \qquad B = \frac{\Phi}{A} \qquad A = \frac{\Phi}{B}$$

١١٤ – ١ التدفق المغنطيسي Φ
وكثافة التدفق المغنطيسي B .

مثال : ما قيمة التدفق المغنطيسي ، إذا كانت كثافة التدفق لقضيب مغنطيسي مساحة مقطع قطبه 5 cm² تبلغ 0,12 T؟

المعطيات : $B = 0{,}12\ T;\ A = 5\ cm^2$.

المطلوب : حساب التدفق المغنطيسي Φ بوحدة Wb .

الحل : $\Phi = B \cdot A = 0{,}12 \frac{Vs}{m^2} \cdot 5 \cdot 10^{-4}\ m^2 = 0{,}6 \cdot 10^{-4}\ Vs = 0{,}6 \cdot 10^{-4}\ Wb$

تمرينات

١ – فسّر لماذا يصنع صندوق البوصلة من النحاس الأصفر أو البلاستيك (البكاليت) .
٢ – لماذا تشير إبرة مغنطيسية حرة الحركة إلى اتجاه الشمال والجنوب دائما؟
٣ – ارسم شكلا تخطيطيا لمسار المجال المغنطيسي لقضيب مغنطيس حدوة حصان ومغنطيس حلقي .
٤ – قطعتان من الفولاذ متساويتا الأبعاد ، إحداهما مغنطيسية والأخرى غير مغنطيسية كيف يمكن تحديد أي من القطعتين هي المغنطيسية (منطقة التعادل) دون الإستعانة بأية وسيلة مساعدة؟
٥ – مغنطيس دائم مساحة قطبه الكلية 5 cm² احسب قيمة التدفق المغنطيسي بوحدات Wb ، إذا كانت $B = 0{,}4\ T$.

٦–٢ الخواص المغنطيسية للفولاذ

٦–٢–١ إحتفاظ الفولاذ بالمغنطيسية



لا تجذب القضبان غير الممغنطة برادة الحديد .

يجذب كلا القضيبين تقريبا كمية متساوية من برادة الحديد تحت تأثير المغنطيسات الدائمة .

تبقى كمية برادة الحديد العالقة بفولاذ التنجستن أكبر كثيرا من تلك العالقة بالفولاذ الطري بعد إبعاد المغنطيس .

التجربة ٣٨ المغنطيسية المتبقية في الفولاذ المغنطيسي الصلد والفولاذ المغنطيسي الطري .

التجهيزات : a = قضيب من فولاذ التنجستن غير الممغنط .
b = قضيب من الفولاذ الطري غير الممغنط .
c = قضيبان مغنطيسيان متساويا الشدة .
d = برادة حديد .

خطوات العمل : ١ - ضع كلا القضيبين غير الممغنطين فوق البرادة .
٢ - ضع المغنطيسين الدائمين فوق نهاية كلا القضيبين .
٣ - ابعد المغنطيسين الدائمين .

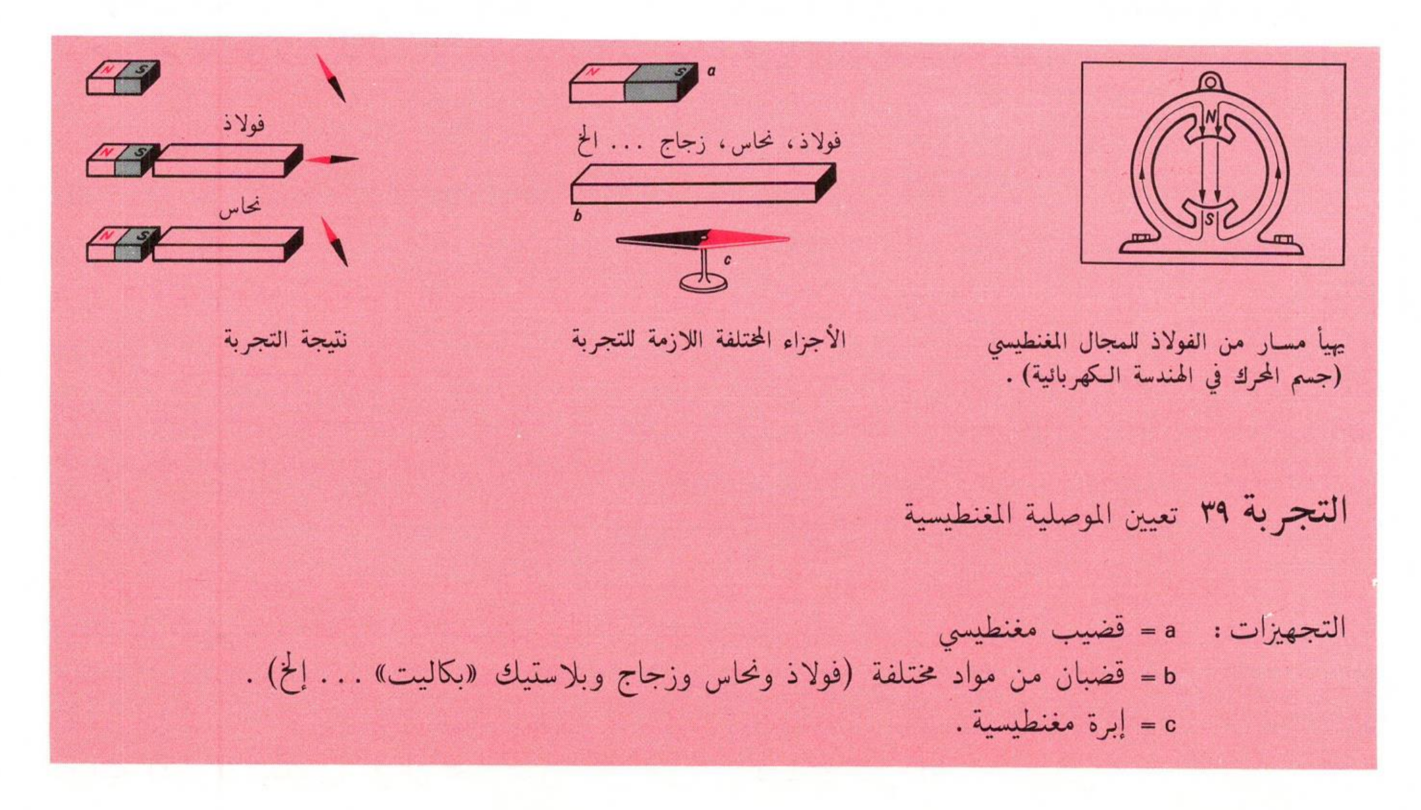
المشاهدة : في الخطوة (١) : كلا القضيبين لا يجذب البرادة .
في الخطوة (٢) : يجذب كلا القضيبين تقريبا كمية متساوية من البرادة .
في الخطوة (٣) : تبقى كمية من البرادة عالقة بقضيب فولاذ التنجستن أكبر كثيرا من تلك العالقة بقضيب الفولاذ الطري .

النتيجة : تتباين أنواع الفولاذ المختلفة في إحتفاظها بالمغنطيسية .

وتسمى المقدرة على الإحتفاظ بقليل أو بكثير من المغنطيسية بالمحتفظية أي بالمغنطيسية المتبقية أو بكثافة التدفق المغنطيسي المتخلف . ويسمى ما يتخلف من المغنطيسية بالمغنطيسية المتبقية أو المتخلفة وتكون محتفظية الفولاذ الطري صغيرة . وتصنع قلوب الملفات في المرَحِّل (الريلاي) من الفولاذ الطري لمنع التصاق الحافظة . وعلى النقيض من ذلك فإن آلات التيار المستمر الذاتية الإستثارة تتركب أقطابها من صفائح من سبائك الفولاذ التي يجب أن تكون لها محتفظية كبيرة ، لكي تستثار الآلة ذاتيا . وتكون المحتفظية عالية بصفة خاصة في الأنواع الحديثة من فولاذ المغنطيسات الدائمة . وتمغنط المواد في الاتجاه المفضَّل عند تبريدها أثناء الإنتاج .

٦-٢-٢ الموصلية المغنطيسية للفولاذ

تعرف الموصلية المغنطيسية بالمواصلة المغنطيسية لمكعب طول ضلعه 1 cm .



يهيأ مسار من الفولاذ للمجال المغنطيسي (جسم المحرك في الهندسة الكهربائية) .

الأجزاء المختلفة اللازمة للتجربة

نتيجة التجربة

التجربة ٣٩ تعيين الموصلية المغنطيسية

التجهيزات : a = قضيب مغنطيسي
b = قضبان من مواد مختلفة (فولاذ ونحاس وزجاج وبلاستيك «بكاليت» ... إلخ) .
c = إبرة مغنطيسية .

خطوات العمل : ١ - ضع القضيب المغنطيسي بعيدا عن الإبرة المغنطيسية بحيث يحدث إنحراف ضئيل عن اتجاه الشمال والجنوب .
٢ - ضع القضيب الفولاذي عبر الهواء الفاصل .
٣ - استبدل القضيب الفولاذي بقضبان من مواد أخرى .

المشاهدة : في الخطوة (١) : يستطيع القضيب المغنطيسي أن يؤثر على الإبرة المغنطيسية تأثيرا ضعيفا فقط على بعد معين
في الخطوة (٢) : تنحرف الإبرة المغنطيسية بشدة .
في الخطوة (٣) : لا تنحرف الإبرة المغنطيسية .

النتيجة : الفولاذ موصل مغنطيسي جيد .

٦-٢-٢-١ الفيرومغنطيسية والفيريمغنطيسية

أظهرت التجارب أن الفولاذ والكوبلت والنيكل قابلة جميعها للمغنطة . وللفولاذ بصفة خاصة مقاومة ضئيلة للتدفق المغنطيسي ، أي أن موصليته المغنطيسية كبيرة جدا وفي التطبيق العملي ينتفع غالبا بالقابلية للمغنطة الجيدة للفولاذ ، ويقال إن الفولاذ فيرّومغنطيسي (فِرُّوم ferrum باللاتينية = حديد) . وتعرف جميع المعادن القابلة للمغنطة (الكوبلت ، النيكل) والتي تشابه الفولاذ في خواصه بالمواد الفيرّومغنطيسية .

وقد ثبت حديثا أن بعض المواد التي تتكون من الأكاسيد (فريتات) ، تكون أيضا قابلة للمغنطة . ولذلك تجمع هذه المواد معا تحت التسمية الشاملة «المواد الفريمغنطيسية» . وتنتمي إليها على سبيل المثال المواد الأكسيدية النييل Néel والفيكتوليت Vectolite ، والفيروكسديور Ferroxdure ، وهي تلبد من مسحوق الأكسيد ونذكر هنا الفيروكسديور وهو غير موصل للكهرباء ويصنع من مركب الباريوم وأكسيد الحديد . وكل المواد المغنطيسية الأكسيدية (الكثافة $\varrho = 3,1...4,8\ kg/dm^2$) أخف من الفولاذ بدرجة كبيرة .

ملاحظة : يتحدد نوع المادة من خلال موصليتها المغنطيسية أو إنفاذيتها المطلقة μ (تنطق ميو ، ومعناها من اللاتينية قابلية الإنفاذ) .

أوضحت التجربة (٣٩) أن الهواء والنحاس والزجاج ومواد عازلة أخرى موصلات رديئة للمغنطيسية . ولكل المواد الأخرى تقريبا خواص متشابهة ، بإستثناء المواد الفيرومغنطيسية والمواد الفريمغنطيسية .

٦-٢-٣ توضيح صفة (خاصية) المغنطيسية عن طريق المغنطيسات الذرية

إذا ما كسرنا قضيباً مغنطيسياً نتج عن ذلك مغنطيسان لكل منهما قطب شمالي وقطب جنوبي ، ويمكن عن طريق التكسير المتتالي تقسيم المغنطيسين إلى أي عدد كبير من المغنطيسات . ويمكن أن نتصور إستمرار هذه العملية حتى أصغر جُسَيْم ، وهو الذرة ، لنصل إلى افتراض أن الذرة أيضا مغنطيس له قطب شمالي وقطب جنوبي . وعلى ذلك فإن المغنطيس يتكون من عدد كبير من المغنطيسات المفردة الصغيرة ، وهي ما تسمى بالمغنطيسات الذرية .

وتدور الإلكترونات أي الشحنات الكهربائية في الذرات حول النواة في أغلفة كروية (انظر صفحة ١٠) . وتعني الشحنات الكهربائية المتحركة تيارات كهربائية (في هذه الحالة تيارات الدائرة) ، وهي تولّد مجالات مغنطيسية ذات خطوط مجال مغلقة ، وتكوّن بالتالي قطبا شماليا وآخر جنوبيا . فإذا لم تتعادل المجالات المغنطيسية في الذرة مع بعضها البعض فإن الذرات تكوّن ثنائيات أقطاب مغنطيسية صغيرة . بالإضافة إلى ذلك يتحرك كل إلكترون حول نفسه حركة دورانية (دوار الإلكترون) أي أن شحنته تدور حول محوره وتولّد بذلك ثنائي أقطاب مغنطيسي .

١١٧ - ١ المغنطيسات الذرية .
أ) مجموعات ذرات في فولاذ غير ممغنط .
ب) ذرات منظمة في فولاذ ممغنط .

الإنفاذية : تكون بصفة عامة المغنطيسات الذرية غير مرتبة نتيجة للحركة الحرارية ، أي أن المادة تبدو بالنسبة للخارج غير مغنطيسية (راجع شكل ١١٧-١أ) فإذا ما مغنط الفولاذ ، فإن ذراته تترتب بحيث تساعد كل الأقطاب المتشابهة بعضها البعض وتمثل قطعة الفولاذ مغنطيسا كبيرا (شكل ١١٧-١ ب) .

إذا ترتبت كل المغنطيسات الذرية ، فإن الاستمرار في المغنطة يصبح عديم الجدوى . حينئذ يكون الفولاذ قد تشبع مغنطيسيا .

ويجب على المغنطيسات الذرية عند إنتظامها أن تتغلب على نوع من مقاومة الإحتكاك . وتكون هذه المقاومة أكبر كلما إزدادت صلادة الفولاذ . ولذا تكون مغنطة الفولاذ الطري أيسر من مغنطة الفولاذ الصلد . ولكن الفولاذ الصلد يحتفظ بالمغنطيسية لمدة أطول من الفولاذ الطري الذي يسهل أن تدور ذراته وتعود إلى وضعها الأصلي .

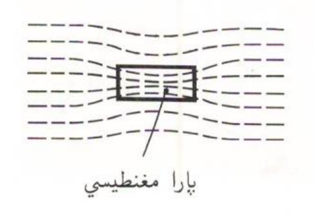
ملاحظة : الفولاذ الصلد فقط هو الذي يكون مناسبا لصناعة المغنطيسات الدائمة . أما الفولاذ المغنطيسي اللّين فتبقى مغنطيسيته في حدود ضيقة . ولا يفقد المغنطيس مغنطيسيته سوى بالتسخين لدرجة التوهج أو بالطّرق الميكانيكي أو بوضعه في مجال مغنطيسي متردد .

وعند وضع المواد المختلفة في مجال مغنطيسي فإننا نجد أن تصرفها يختلف بعضها عن بعض . ولكي تتمكن من المقارنة بينها يطلق على النسبة بين كثافة التدفق المغنطيسي B لمادة موجودة في المجال المغنطيسي وكثافة التدفق المغنطيسي B_a في الفراغ (وتقريبا بالهواء) إسم الإنفاذية النسبية μ_r (وذلك بافتراض وجود مجالات متساوية الشدة) . والإنفاذية النسبية قيمة عددية خالصة ولذلك تسمى أيضا بمعامل الإنفاذية .

$$\mu_r = \frac{B}{B_a}$$

إذا حدد للموصلية المغنطيسية للهواء $\mu_r=1$ فإننا نحصل بذلك على مقياس المقارنة . وعلى ذلك تعني $\mu_r=500$ أن توصيل المادة للمجال المغنطيسي عند شدة المجال المغنطيسي ذاتها ، أفضل من الهواء خمسمائة مرة . وقيمة μ_r للفولاذ ليست ثابتة ، فهي تعتمد على كثافة التدفق المغنطيسي وعلى درجة الحرارة وعلى الضغط الخارجي . وتنخفض الموصلية المغنطيسية بارتفاع درجة الحرارة وتصل قيمتها إلى القيمة (١) واحِد عند نقطة كوري . وتقع نقطة كوري للفولاذ عند 770°C أي أن الفولاذ يصبح عند درجة الحرارة هذه غير مغنطيسي .

١١٧ - ٢ مسار خطوط المجال للمواد الديامغنطيسية والمواد الپارامغنطيسية .





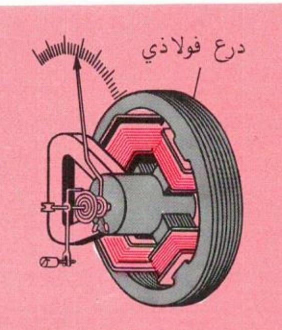
- تسمى المواد التي لها μ_r أقل قليلا من 1 بالمواد الديامغنطيسية (شكل ١١٧-٢ و ١١٨-١) (على سبيل المثال الهيدروجين والنحاس والفضة والزجاج).
- تسمى المواد التي لها μ_r أكبر قليلا من 1 بالمواد البارامغنطيسية (شكل ١١٧-٢ و ١١٨-١) (الألومنيوم والسليكون على سبيل المثال).
- تسمى المواد التي لها μ_r أكبر كثيرا من 1 بالمواد الفيرومغنطيسية (الفولاذ والكوبلت والنيكل مثلا).

١١٨ - ١ الإنفاذية النسبية μ_r.

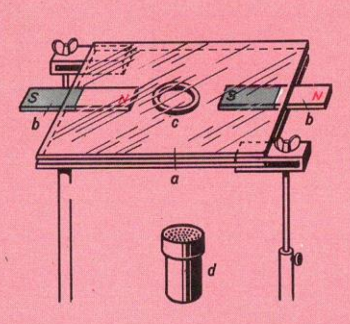
فيرومغنطيسي		بارامغنطيسي		ديامغنطيسي	
حديد زهر (2...4%C)	800	هواء	1,00000037	بزموت	0,99984
فولاذ (أقل من 0,1%)	4 000	ألومنيوم	1,00002	زئبق	0,999970
صاج محولات يحتوي على سليكون	8 000	بلاتين	1,00026	فضة	0,999975
		كروم	1,00027	رصاص	0,999984
ميوميتال (Mumetal)	100 000	فولاذ (1200°C)	1,0026	نحاس	0,999990
برمالوي (Permalloy)	300 000	فولاذ (800°C)	1,15	ماء	0,999991

تشتّت (تسرّب) المجال المغنطيسي. بمجرد خروج المجال المغنطيسي من قطب المغنطيس إلى الهواء، فإنه يشغل حيزا أكبر (ينفرج)، أي تصبح كثافة التدفق المغنطيسي B أقل وبالتالي يقل تأثير القوة. لذلك تبذل الجهود في التطبيقات العملية لجعل تشتّت المجال المغنطيسي ضئيلا بقدر الإمكان، وذلك باستخدام المقاطع الكبيرة والشكل المناسب للموصل المغنطيسي (الفولاذ).

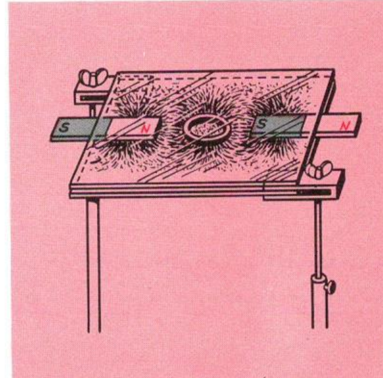
٦-٢-٤ تأثير الحجب المغنطيسي للفولاذ

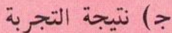


أ) درع فولاذي حول مجموعة القياس لحمايتها من تأثير المجالات المغنطيسية الخارجية



ب) مخطط التجربة





ج) نتيجة التجربة

التجربة ٤٠ الحجب المغنطيسي

التجهيزات: a = لوح زجاجي
b = قضيبان مغنطيسيان
c = حلقة فولاذية
d = برادة حديد

خطوات العمل: ضع الحلقة الفولاذية بين القطبين المتضادين للقضيبين المغنطيسيين ثم ضع اللوح الزجاجي عليهما ورش برادة الحديد.

المشاهدة : لا تنتظم البرادة داخل الحلقة .
لا يمر المجال المغنطيسي من خلال الحلقة .

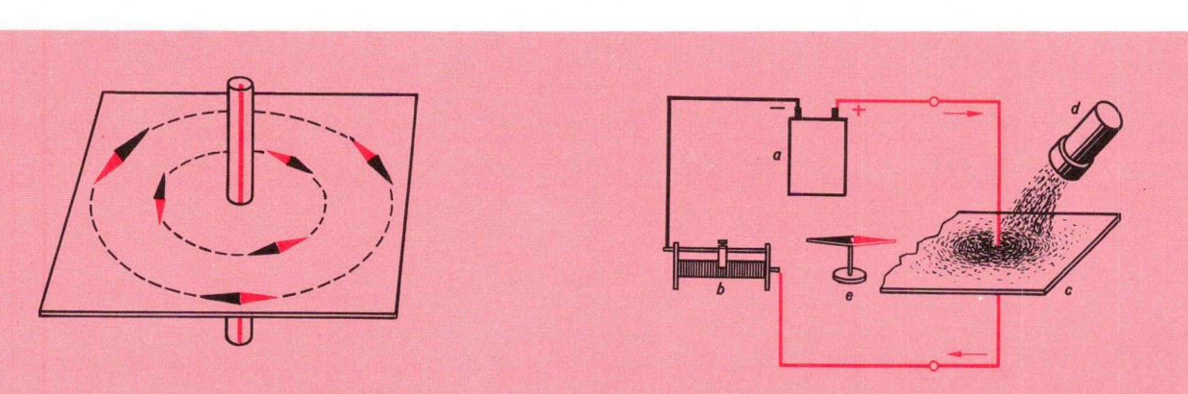
النتيجة : يستخدم المجال المغنطيسي الحلقة الفولاذية ذات التوصيل المغنطيسي الجيد . ولا يستدل على تأثير أية قوة في داخل الحلقة . وبذلك يمكن أن تحمى الأجهزة والمكونات من المجالات المغنطيسية الخارجية بواسطة الأغلفة الفولاذية .

تمرينات

١ – ما معنى الإنفاذية ؟
٢ – ما المقصود بالمحتفظية (المغنطيسية المتبقية) ، ومتى يكون مرغوبا فيها ؟
٣ – وضّح لماذا لا يجوز أن يكون لقلب القطب في جرس منبه يعمل بالتيار المستمر أية محتفظية .
٤ – اشرح تأثير الحجب المغنطيسي للفولاذ .
٥ – اشرح ما المقصود بمادة ممغنطة في اتجاه مفضل .

٦-٣ المجال المغنطيسي للتيار الكهربائي

طبقا للتجربة (٣) ، تنحرف الإبرة المغنطيسية عن إتجاهها نحو الشمال والجنوب بفعل التيار الكهربائي ، وحيث أنه يمكن طبقا للتجربة (٣٥) أن تنحرف الإبرة عن وضع السكون بفعل المجال المغنطيسي ، فإنه يجب أن يفترض أن التيار الكهربائي يولد مجالا مغنطيسيا في المنطقة المحيطة به .



يولد الموصل الحامل للتيار مجالا مغنطيسيا ويمكن توضيحه ببرادة الحديد أو بالإبرة المغنطيسية .

التجربة ٤١ يولد التيار مجالا مغنطيسيا حلقي الشكل

التجهيزات : a = مركم نيكل وحديد
b = مقاومة متغيرة
c = لوحة من الكرتون مع موصل
d = برادة حديد
e = إبرة مغنطيسية

خطوات العمل : ١ - مَرِّر الموصل الحامل للتيار عموديا خلال لوحة الكرتون ثم رُشَّها بالبرادة .
٢ - افحص اتجاه المجال بواسطة الإبرة المغنطيسية (انظر الشكل) .
٣ - اعكس إتجاه التيار ، ثم اكمل كما في الخطوة ٢ .

المشاهدة : في الخطوتين (١) ، (٢) : تنتظم البرادة في دوائر متحدة المركز حول الموصل ، وتحدد الإبرة المغنطيسية الإتجاه .
في الخطوة (٣) : تشير الإبرة المغنطيسية إلى الاتجاه الآخر .

النتيجة : يحدث الموصل الحامل للتيار مجالا مغنطيسيا حلقي الشكل .

التيار والمجال المغنطيسي متلازمان . يمكن اعتبار التيار الكهربائي مسببا للمجال المغنطيسي ، مثلما يعتبر الجهد مسببا للتيار الكهربائي . ويقال أيضا أن التيار المستمر والمجال المغنطيسي التابع له مرتبطان ببعضهما البعض (شكل ١٢٠-١) .

ويكون مسار المجال المغنطيسي في دوائر متحدة المركز حول الموصل الحامل للتيار (شكل ١٢٠-٢أ) . وتزداد المسافات بين الدوائر المتحدة المركز متباعدة إلى الخارج ، أي أن كثافة التدفق المغنطيسي B تصبح أقل كلما زاد البعد عن الموصل ، وهي تتناسب عكسيا مع مربع المسافة (تنقص إلى الربع إذا ضوعفت المسافة . . . إلخ) .

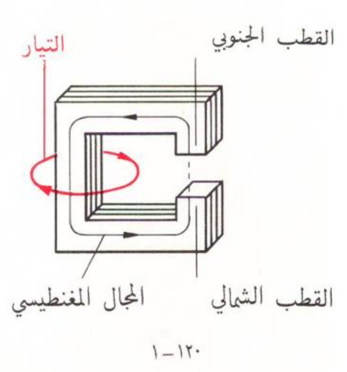
وتُحدِّد شدة التيار قيمة المجال المغنطيسي (شكل ١٢٠-٢ب) ويحدث كل تغير في المجال بسرعة الضوء . ولا يرتبط وجود المجال المغنطيسي بمادة معينة فهو يظهر أيضا في الفراغ الخالي من الهواء ، ولا تعتبر المواد غير الموصلة عائقا لانتشاره .

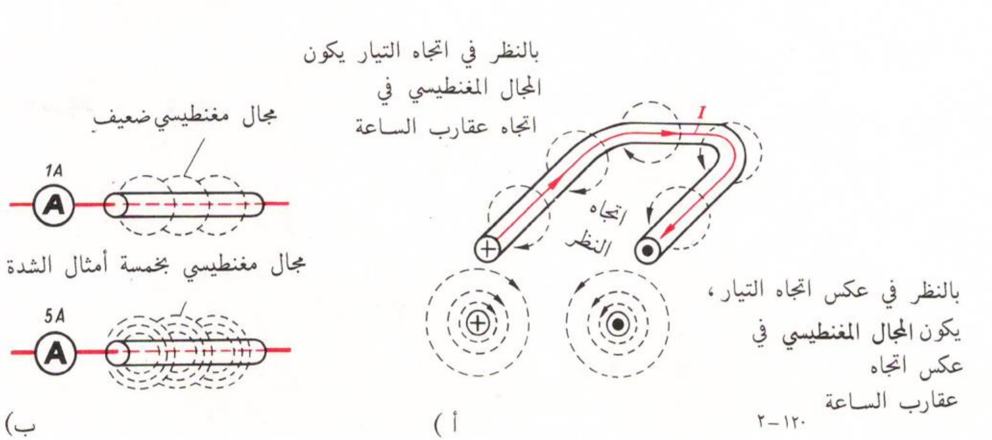
إتجاه التيار في الموصل : لِنتصَوَّر (شكل ١٢٠-٢أ) سهما يسبح في اتجاه التيار ، فعندما ننظر في اتجاه التيار فإننا نرصد ذيل السهم الذي يمثل بعلامة + وعندما ننظر ضد اتجاه التيار فإننا نرصد رأس السهم الذي يمثِّل كنقطة .

اتجاه المجال المغنطيسي : بالنظر في اتجاه التيار ، يكون مسار المجال المغنطيسي المحيط بالتيار في اتجاه دوران عقارب الساعة (شكل ١٢٠-٢) . وبالنظر ضد اتجاه التيار ، يكون المسار عكس اتجاه دوران عقارب الساعة .

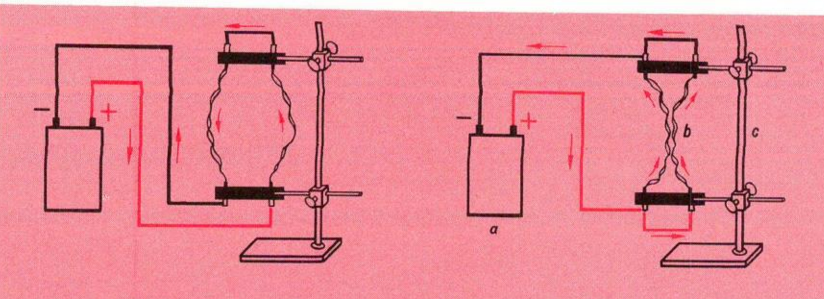
١٢٠ - ١ التيار والمجال المغنطيسي مرتبطان كحلقتين في سلسلة .

١٢٠ - ٢ أ) اتجاه التيار واتجاه المجال المغنطيسي . تزداد المسافات بين الدوائر كلما اتجهنا إلى الخارج ، أي تقل كثافة التدفق المغنطيسي .
ب) كلما زادت شدة التيار ، زادت شدة المجال المغنطيسي .





٦-٣-٢ التأثير المغنطيسي المتبادل لموصلين متوازيين يمر بهما تيار



المجالان المغنطيسيان لموصلين متوازيين يتبادلان التأثير

مخطط التجربة

التجربة ٤٢ القوى بين الموصلات المتوازية الحاملة للتيار

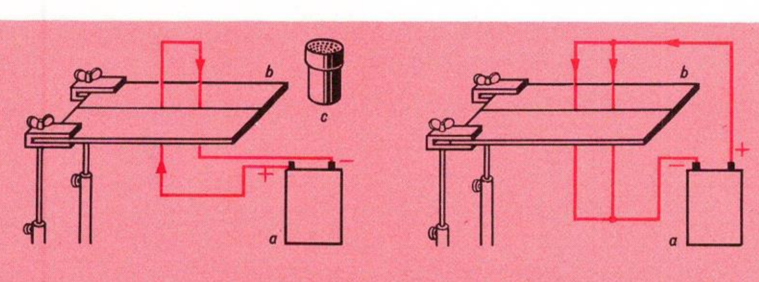
التجهيزات : a = مركم نيكل وحديد
b = موصلان على شكل شريط معدني
c = حامل لتثبيت أطراف الموصلين

خطوات العمل : ١ - ثَبِّت أطراف الموصلين ودعهما مرتخيين واجعل التيار يمر فيهما في نفس الإتجاه .
٢ - دع التيار يمر في الموصلين في اتجاهين متضادين .

المشاهدة : ١ - الموصلان يتجاذبان .
٢ - الموصلان يتنافران .

النتيجة : تتجاذب الموصلات الحاملة لتيارات تمر في نفس الاتجاه ، وتتنافر الموصلات الحاملة لتيارات تمر في اتجاهات متضادة .

تطبيقات عملية : يجب أن تكون لدعامات قضبان توصيل التيار المستمر متانة كافية ، لكي تقاوم القوى الديناميكية المؤثرة على قضبان التوصيل .



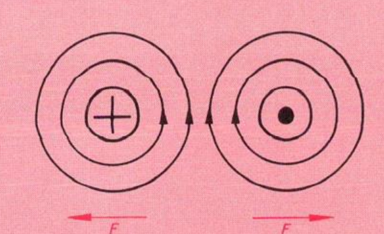
مسار المجال المغنطيسي للموصلات المتوازية .
مخطط التجربة لموصلين حاملين لتيار يمر في نفس الاتجاه أو في اتجاهين متضادين .

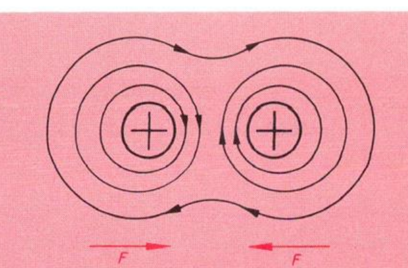
التجربة ٤٣ قوى الشد والضغط للمجال المغنطيسي

التجهيزات : a = مركم نيكل وحديد
b = لوحة من الكرتون مع موصّلين متوازيين
c = برادة حديد

خطوات العمل : دع التيار يمر في الموصلين في نفس الإتجاه ثم في اتجاهين متضادين وضِّح مسار المجال المغنطيسي بواسطة البرادة .

المشاهدة : في حالة مرور التيار في اتجاه واحد يتحد المجالان المغنطيسيان لكلا الموصلين ، بينما يتعارض المجالان المغنطيسيان بين الموصلين في حالة مرور التيار في اتجاهين متضادين .





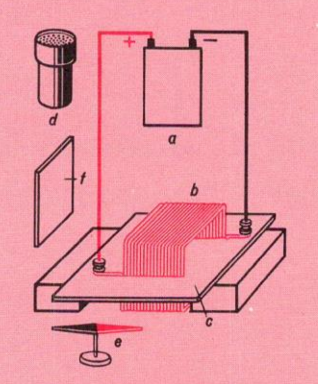
النتيجة : اذا تصورنا خطوط المجال كأنها خيوط مطاطية مشدودة ، فان الموصلين الحاملين للتيار المـار في اتجاه واحد يجذبان بعضهما البعض (تميل الخيوط المطاطية الخارجة الى القصر ، ويناظر ذلك شد طولي للمجال المغنطيسي) .
عند مرور التيار في اتجاهين متضادين يكون مسار خطوط المجال بين الموصلين متوازيا وفي اتجاه واحد . ويتنافر الموصلان من بعضهما البعض (قوى ضغط جانبية ، أي ضغط مستعرض للمجال المغنطيسي) .

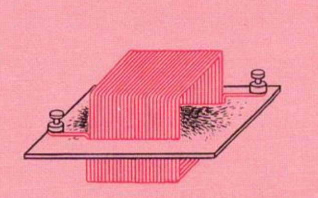
٦-٣-٣ تشابه المجال المغنطيسي لملف والمجال المغنطيسي لقضيب مغنطيسي

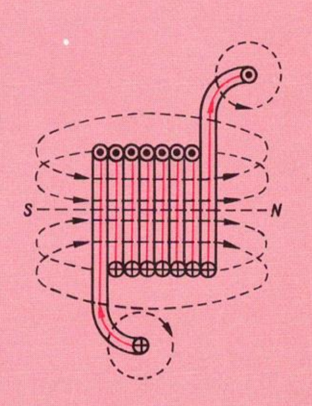
التجربة ٤٤ الملف والمجال المغنطيسي

التجهيزات :
a = مصدر جهد
b = ملف
c = لوحة من الكرتون
d = برادة حديد
e = إبرة مغنطيسية
f = لوح صغير من الفولاذ

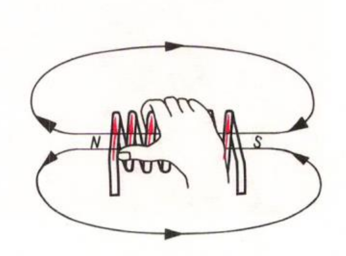
خطوات العمل : كوِّن شكل المجال بالبرادة . قرِّب كلاً من الإبرة المغنطيسية ثم اللوح الفولاذي من طرف الملف .





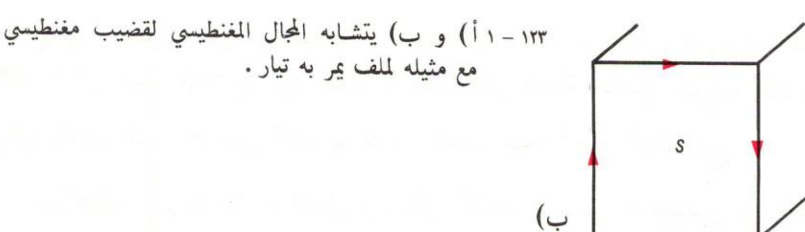


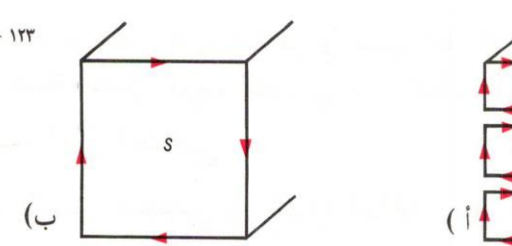
المشاهدة : يتشابه المجال المغنطيسي للملف مع مثيله للقضيب المغنطيسي .
النتيجة : للملف قطب شمالي وقطب جنوبي ، وهو يجذب الفولاذ . وإذا عُلِّق الملف تعليقا حرا ، فإنه يتخذ إتجاه الشمال والجنوب أيضا .



١٢٢ - ١ يعين اتجاه المجال المغنطيسي تبعا لقاعدة اليد اليمنى : إذا أحاطت اليد بالملف بحيث كانت أطراف الأصابع تشير إلى اتجاه التيار ، فإن اصبع الأبهام يشير إلى القطب الشمالي .

١٢٣ - ١ أ) و ب) يتشابه المجال المغنطيسي لقضيب مغنطيسي مع مثيله لملف يمر به تيار .

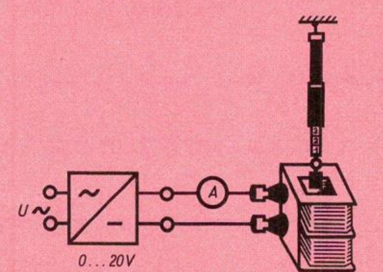




يتشابه المجال المغنطيسي لقضيب مغنطيسي مع مجال ملف حامل لتيار . يوضّح شكل (١٢٣-١أ) نموذجا تصوريا حيث قسّم فيه مقطع القضيب المغنطيسي الى تسعة مربعات ، ويمثّل محيط كل مربع مسار شحنة كهربائية (الكترون) . يلاحظ أن الشحنات على المربعات المتجاورة تلغي بعضها البعض ، أي أنه لا يوجد هنا مجال مغنطيسي . ويبقى فقط المجال المغنطيسي المتولد من شحنات الأضلاع الخارجية (شكل ١٢٣-١ ب) .

ملاحظة : يؤثر القضيب المغنطيسي وكأنه محاط بملف حامل للتيار ، ويكون المقطع ممتلئا بخطوط المجال . ويقع في شكل (١٢٣-١ ب) قطب جنوبي في المقدمة . ولما كان فصل القطب الجنوبي عن القطب الشمالي غير ممكن كذلك في المغنطيسات الدائمة (انظر صفحة ١١٦) ، فإن على خطوط المجال أن تعود للدخول في القطب الجنوبي .

التجربة ٤٥ تأثير القوة المغنطيسية لملف حامل للتيار بدون قلب حديدي



التجهيزات : a = مصدر جهد (U) من 0 V الى 20 V
b = ميزان زنبركي لقوة الشد
c = ملفان N=300 ، N=600
d = قطعة من الفولاذ
e = أمبيرمتر

خطوات العمل : ١ - علّق القطعة الفولاذية بالميزان الزنبركي لقياس قوة الشد بحيث تقع في قلب الملف .

٢ - صل الملف N=300 بمصدر الجهد واضبط شدة التيار عند 1 A ثم 2 A . سجّل قراءة الميزان الزنبركي واحسب حاصل الضرب I·N . دوّن القيم في الجدول .

٣ - صل الملف N=600 بمصدر الجهد واضبط شدة التيار عند 0,5 A ثم 1 A ، وأكمل باقي الخطوات مثل (٢) .

القراءات :

I (A)	عدد اللفات N	I·N	القوة (N)
1	300	1 A·300=300 A	0,08
2	300	2 A·300=600 A	0,16
0,5	600	0,5 A·600=300 A	0,08
1	600	1 A·600=600 A	0,16

النتيجة : تتساوى قيمة القوى المؤثرة على قطعة الفولاذ اذا تساوى حاصل ضرب التيار I في عدد اللفات N (الأمبيرلفات) .

ملاحظة : تعتمد شدة المجال المغنطيسي لملف بدون قلب حديدي على التيار I وعلى عدد اللفات N .

يمكن الحصول على قيم متساوية للمجال المغنطيسي بتيار قدره 1 A يمر في ملف N=300 أو بتيار 0,5 A يمر في ملف N=600 أو بتيار 10 A يمر في ملف N=30 ، لأن قيمة حاصل ضرب التيار في عدد اللفات متساوية في جميع الحالات . وكلما زادت قيمة حاصل الضرب I·N ، زادت قيمة المجال المغنطيسي .

ملاحظة : تزداد شدة المجال وبالتالي كثافة التدفق المغنطيسي في الفراغ الداخلي لملف حامل للتيار بدون قلب حديدي طرديا مع I·N (شكل ١٢٦ – ١) .

٦-٣-٤ وصلية التدفق

يعرف حاصل ضرب شدة التيار I في عدد اللفات N بوصلية التدفق ، ويرمز لها بالرمز Θ (الحرف اليوناني ثيتا Theta) . وحدة وصلية التدفق هي الأمبير ، لأن عدد اللفات N قيمة عددية خالصة .

$$\Theta = I \cdot N$$

ويمكن مقارنة وصلية التدفق بالجهد المسبب للتيار في الدائرة الكهربائية ، ولذلك فهي تسمى أيضا بالجهد المغنطيسي .

مثال : ما قيمة وصلية التدفق لملف عدد لفاته N=2 500 ، يمر فيه تيار قدره 120 mA ؟

المعطيات : $N = 2\,500;\ I = 0{,}12\ A$

المطلوب : حساب وصلية التدفق Θ بوحدة (A)

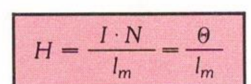
الحل : $\Theta = I \cdot N = 0{,}12\ A \cdot 2\,500 = 300\ A$

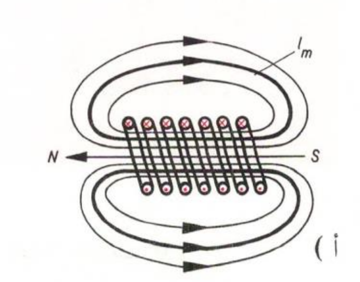
تناظر هذه القيمة قيمة وصلية التدفق لملف ذى لفة واحدة ويمر فيه تيار قدره 300 A .

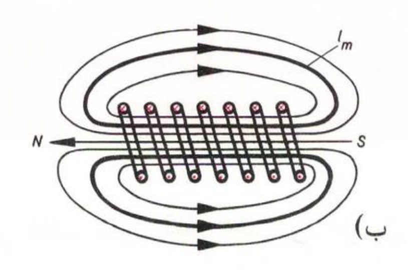
٦-٣-٥ شدة المجال

يبين شكل (١٢٤–١) ملفين لهما قيمة وصلية تدفق واحدة ، إلا أن متوسط طول خط المجال في شكل (١٢٤–١ب) أطول من مثيله في شكل (١٢٤–١أ) ، أي أن خطوط المجال عليها أن تقطع مسافة أطول . ويسهل علينا ملاحظة أن الملف الممتد طوليا يجب أن يستهلك طاقة أكبر من الملف المنضغط . ولذلك فان شدة المجال للملفات المختلفة والتي لها قيم وصلية تدفق Θ متساوية تقل كلما طال مسار خط المجال المتوسط .

ملاحظة : تسمى وصلية التدفق لكل متر في طول خط المجال بشدة المجال المغنطيسي H ، ووحدته $\frac{A}{m}$.







١٢٤ – ١ ملفات لها عدد متساو من اللفات ، وقيم متساوية لوصلية التدفق Θ

أ) ملف قصير ؛
ب) ملف طويل .

مثال : إحسب شدة المجال المغنطيسي لملف عدد لفاته $N=3\,000$ وطول خط المجال المتوسط فيه يبلغ 15 cm ويمر فيه تيار شدته 50 mA .

المعطيات : $N=3\,000;\ l_m=15\ cm;\ I=50\ mA$

المطلوب : حساب شدة المجال المغنطيسي H بوحدة $\frac{A}{m}$.

الحل : $H=\frac{\Theta}{l_m}=\frac{0{,}05\ A\cdot 3\,000}{0{,}15\ m}=1\cdot 10^3\,\frac{A}{m}$

عندما يكون مسار المجال المغنطيسي في الفراغ توجد بين شدة المجال المغنطيسي H وكثافة التدفق المغنطيسي B الناشئة عنها العلاقة (ملف ذو قلب هوائي) .

$$B=\mu_0\cdot H$$

وتكون كثافة التدفق المغنطيسي في الفراغ (وبتحفظ أيضا في الهواء) - أكبر من شدة المجال بمقدار ثابت المجال المغنطيسي (ثابت الحث)

$$\mu_0=1{,}25\cdot 10^{-6}\,\frac{Vs}{Am}$$

ويسمى ثابت الحث μ_0 أيضا بإنفاذية الفراغ .

مثال : أحسب كثافة التدفق المغنطيسي لملف ذى قلب هوائي تبلغ شدة مجاله $H=180\,\frac{A}{m}$؟

المعطيات : $H=180\,\frac{A}{m};\ \mu_0=1{,}25\cdot 10^{-6}\,\frac{Vs}{Am}$

المطلوب : حساب التدفق المغنطيسي (B) بوحدة تسلا (T) .

الحل : $B=\mu_0\cdot H=1{,}25\cdot 10^{-6}\,\frac{Vs}{Am}\cdot 180\,\frac{A}{m}=2{,}05\cdot 10^{-4}\,T$

إذا كان مسار خطوط المجال في مادة غازية أو سائلة أو صلبة ، فان كثافة التدفق المغنطيسي لنفس شدة المجال تكون أصغر أو أكبر منها في الفراغ تبعا للمادة . وتتغير كثافة التدفق المغنطيسي بنسبة معامل الإنفاذية μ_r، وهو قيمة عددية مطلقة ، أي ليست له وحدات (انظر صفحة ١١٨ لقيم μ_r) .

لجميع الملفات ذات القلوب المليئة بمادة ما يكون :

$$B=\mu_0\cdot\mu_r\cdot H$$

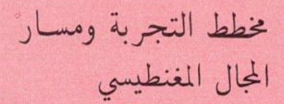
ويسمى حاصل ضرب μ_0 في μ_r بالإنفاذية المطلقة :

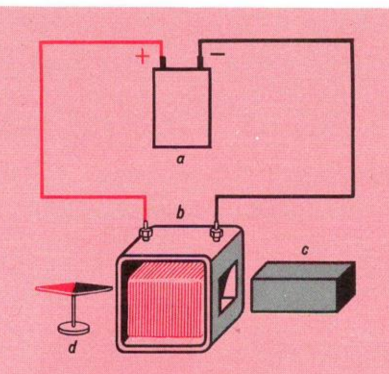
$$\mu=\mu_0\cdot\mu_r$$

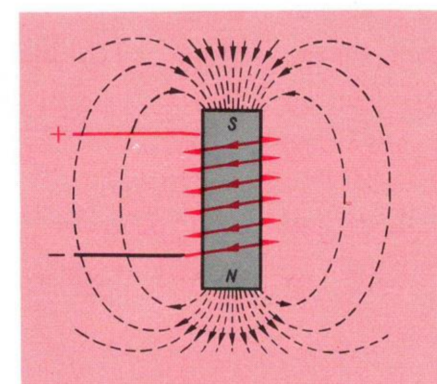
ونظرا لأن μ_0 تمثل قيمة عددية ثابتة ، فان الإنفاذية المغنطيسية تعتمد فقط على μ_r. وللمواد ذات قيم μ_r العالية (المواد الفيرومغنطيسية) مقاومة ضئيلة للمغنطيسية ، ولذا تستخدم أيضا كموصلات مغنطيسية .

ملاحظة : على النقيض من الكهرباء التي تعرف فيها المواد ذات $\varkappa=0$ بالعوازل أو غير الموصلات ، فإنه لا يوجد في المغنطيسية شيء إسمه غير موصل مغنطيسي ، أي لا توجد مادة لها $\mu=0$، ولذلك تم اختيار إنفاذية الفراغ μ_0 كقيمة قياسيّة . وتنسب إنفاذية كل المواد الأخرى الى هذه القيمة ، ومن ثم تعرف بمقدار إنفاذيتها النسبية μ_r. وتبلغ الإنفاذية النسبية لجميع المواد واحدا صحيحا تقريبا ، بإستثناء المواد الفيرومغنطيسية (Fe و Ni و Co وسبائك هُويْسلَر Heusler) .

٦-٣-٦ المغنطيسيات الكهربائية كملفّات حاملة للتيار ذات قلوب حديدية







التجربة ٤٦ المجال المغنطيسي لمغنطيس كهربائي

التجهيزات : a = مصدر جهد
b = ملف
c = قلب من فولاذ مغنطيسي ليِّن
d = إبرة مغنطيسية

خطوات العمل : ١ – ضع الإبرة المغنطيسية بعيدا عن الملف الحامل للتيار ، بحيث يكون الإنحراف ضئيلا جدا
٢ – ادخل القلب في الملف .

المشاهدة : يُحدِثِ الملف وبه القلب إنحرافا أكبر للإبرة المغنطيسية .

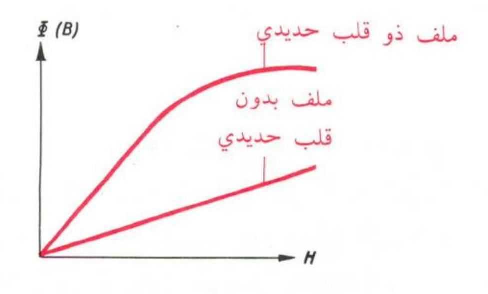
النتيجة : ينتج الملف ذو القلب الفولاذي مجالا مغنطيسيا أشد الى حد كبير .

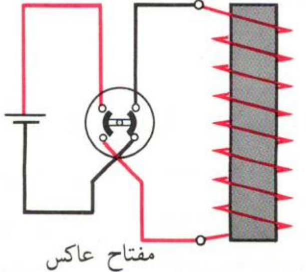
ملاحظة : تكون شدة التدفق المغنطيسي وكثافة التدفق في المغنطيس الكهربائي أكبر كثيرا منها في الملف الخالي من الحديد .

تُقَوّي المغنطيسات الذرية المنتظمة في القلب الفولاذي المجال المغنطيسي . وتظهر في المغنطيسات الكهربائية ظاهرة التشبع ، أي أن التدفق المغنطيسي يصل الى قيمة قصوى مع زيادة شدة المجال . وعلى النقيض من الملف الخالي من الحديد ، فإن زيادة التيار بعد ذلك ، على سبيل المثال ، تصبح عديمة الجدوى (شكل ١٢٦–١) .

للمغنطيس الكهربائي مميزات هامة بالمقارنة بالمغنطيس الدائم وهي :

- يمكن مغنطته لشدة أعلى بكثير .
- تتغير قيمة التدفق المغنطيسي Φ بتغيير تيار الملف .





١٢٦ – ١ علاقة التدفق المغنطيسي Φ أو كثافة التدفق B بشدة المجال H .

١٢٦ – ٢ شكل سؤال ٤ .

- ينعكس اتجاه Φ بعكس اتجاه التيار في ملف المغنطيس، بحيث يصبح القطب الشمالي قطبا جنوبيا وبالعكس.
- يمكن إنشاء مغنطيس دائم بواسطة ملف.

إستخدامات المغنطيسات الكهربائية: تستخدم المغنطيسات الكهربائية كمغنطيسات رافعة وكمغنطيسات مكابح (فرملة) وفي أجهزة التثبيت المغنطيسية وأجهزة التحكم في هندسة الجهد العالي وفي هندسة الإتصالات الكهربائية... إلخ.

تمرينات

١ – ما الذي يجب مراعاته عند تركيب قضبان توصيل تمر بها تيارات مستمرة كبيرة في نفس الإتجاه؟

٢ – نتيجة للمغنطيسية المتبقية في مغنطيس رافع يظل جزء من الحمل الذي يجب إسقاطه عالقا. كيف يمكن التوصل الى إسقاط الجزء الباقي؟

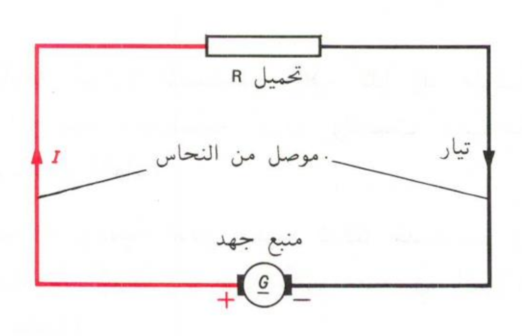
٣ – اشرح طريقة عمل الجرس الكهربائي.

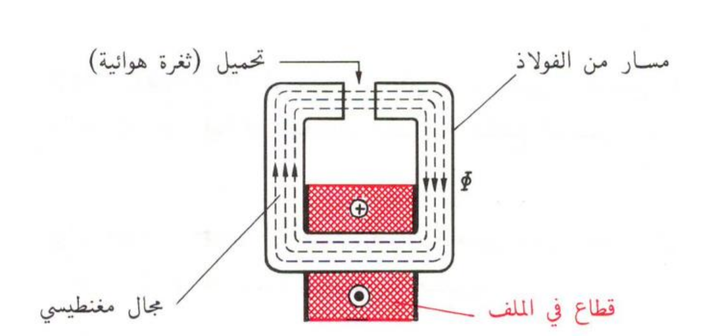
٤ – أين يتكون في شكل (١٢٦–٢) القطب الشمالي والقطب الجنوبي، إذا كان وضع المفتاح العاكس كما هو مبين؟

٦ – ٤ الدائرة المغنطيسية

٦ – ٤ – ١ الدائرة الكهربائية والدائرة المغنطيسية

يوجد تشابه كبير بين الدائرة الكهربائية والدائرة المغنطيسية





مصدر الجهد الكهربائي = مولد

الجهد الكهربائي U بالفولط هو المسبِّب للتيار الكهربائي I بالأمبير

تتدفق الإلكترونات في الدائرة الكهربائية

تقاس شدة التيار الكهربائي I بالأمبير

مصدر الجهد المغنطيسي = ملف حامل للتيار ذو قلب حديدي (بالقدر الذي يملأ فراغ الملف فقط)

وصلية التدفق Θ أو الجهد المغنطيسي V=I·N بالأمبير هو المسبب للتدفق المغنطيسي Φ

ملاحظة: لا يسري أو يتدفق شيء في الدائرة المغنطيسية، فالمجال المغنطيسي ساكن.

تقاس قيمة التدفق المغنطيسي Φ بالويبر أو بالفولط ثانية

كثافة التيار S هي قيمة التيار I لكل mm^2 من مقطع الموصل $S = I/A$ (A/mm^2)

تتكون المقاومة الكهربائية R في الدائرة الكهربائية من مقاومات الموصلات والأحمال .

قانون أوم للدائرة الكهربائية

$$I = U/R$$

التعريف : يزداد التيار I كلما زاد الجهد U ونقصت المقاومة R .

المقاومة الكهربائية

$$R = l/\varkappa \cdot A$$

l = طول الموصل
$\varkappa$ = موصلية المادة
A = مساحة مقطع الموصل

تزداد المقاومة R لموصل ما كلما زاد طول الموصل l ونقصت الموصلية $\varkappa$ ونقصت مساحة مقطع الموصل A .

يولد **مصدر جهد** له جهد أطراف معين تيارا أصغر في مقاومة كبيرة مما يولده في مقاومة صغيرة .

يقع هبوط الجهد E على امتداد مجال كهربائي .

في المجال الكهربائي ، يعرف إصطلاح هبوط الجهد الكهربائي E ويظهر لكل متر على طول المجال الكهربائي هبوط للجهد مقداره

$$E = U/l \quad (v/m)$$

وينطبق ذلك على المجال الكهربائي المتجانس .
(بين لوحين مسطحين ومتوازيين لمكثف) .

كثافة التدفق المغنطيسي B هي قيمة التدفق المغنطيسي Φ لكل m^2 من المقطع الفولاذي $B = \Phi/A$ بالتسلا أو الڤولط ثانية لكل m^2

تنشأ المقاومة المغنطيسية R_m من القضبان الفولاذية حول الملف ، ومن الثغرة الهوائية كحمل . ويقاوم الهواء التدفق المغنطيسي مقاومة كبيرة .

قانون أوم للدائرة المغنطيسية

$$\Phi = V/R_m = I \cdot N/R_m$$

التعريف : يزداد التدفق المغنطيسي Φ ، كلما زاد الجهد المغنطيسي V أو وصلية التدفق Θ وكلما نقصت المقاومة المغنطيسية R_m .

المقاومة المغنطيسية

$$R_m = l/\mu \cdot A$$

l = طول الدائرة المغنطيسية
μ = الموصلية المغنطيسية للمادة .
A = مساحة مقطع الفولاذ أو الهواء .

تزداد مقاومة الدائرة المغنطيسية R_m ، كلما زاد طولها ونقصت الموصلية المغنطيسية للمادة ونقصت مساحة مقطع الفولاذ أو الهواء .

يولد **ملف له وصلية تدفق معينة** تدفقا مغنطيسيا في الهواء (مقاومة كبيرة) أضعف بكثير منه في الفولاذ (مقاومة صغيرة) .

يقع هبوط الجهد H على امتداد مجال مغنطيسي .

في المجال المغنطيسي يعرف اصطلاح هبوط الجهد المغنطيسي H . ويظهر لكل متر على طول المجال المغنطيسي هبوط للجهد مقداره

$$H = V/l \quad (A/m)$$

(l = طول الملف بالمتر)
وينطبق ذلك على المجال المغنطيسي المتجانس .

تسمى E في المراجع أيضا بشدة المجال الكهربائي إذا عوض عن R في المعادلة $I=U/R$ بالقيمة $l/\varkappa \cdot A$، فإننا نحصل على:

$I/A=\varkappa \cdot U/l;\ I=\varkappa \cdot A \cdot U/l$

وحيث أن $I/A=S$ و $U/l=E$

إذاً

$$S=\varkappa \cdot E$$

أي أن كثافة التيار = الموصلية مضروبة في هبوط الجهد.

بعد التعويض تصبح:

$$E=S/\varkappa$$

تسمى H في المراجع أيضا بشدة المجال المغنطيسي. ($H=\Theta/l$).

إذا عُوِّض عن R_m في المعادلة $\Phi=I \cdot N/R_m$ بالقيمة $l/\mu \cdot A$، فإننا نحصل على:

$\Phi=I \cdot N \cdot \mu \cdot A/l$ أو $\Phi/A=I \cdot N \cdot \mu/l$

وحيث أن: $\Phi/A=B$ أو $I \cdot N/l=H$

إذاً

$$B=\mu \cdot H$$

أي أن كثافة التدفق المغنطيسي = الموصلية مضروبة في شدة المجال (هبوط الجهد).

μ = الإنفاذية المطلقة.

في الفراغ $\mu=\mu_0$

μ_0 = ثابت المجال المغنطيسي $=1{,}25 \cdot 10^{-6}\ \frac{Vs}{Am}$

μ_r = معامل الإنفاذية (الإنفاذية النسبية للمواد الفيرومغنطيسية) $\mu=\mu_0 \cdot \mu_r$

٦-٤-٢ حساب الملفات ذات القلوب الهوائية

يسير المجال المغنطيسي لملف ذى قلب هوائي كحزمة مغلقة داخل قلب الملف الخالي (أنظر التجربة ٤٤). ويبدو المجال المغنطيسي كأنه قد حزم بلفات السلك.

ينتشر المجال المغنطيسي عند طرف الملف على مساحة مقطع أكبر، أي أنه ينفرج أو يتشتّت. والجزء المشتَّت أو المجال المشتت غير مرغوب فيه في الأجهزة والآلات الكهربائية.

مثال ١: ملف طوله 60 cm وعدد لفاته $N=1200$ ومساحة مقطعه $10\ cm^2$. إحسب وصلية التدفُّق وشدة المجال وكثافة التدفق والتدفق المغنطيسي، إذا مر في الملف تيار شدته 0,5 A.

المعطيات: $N=1200;\ l=0{,}6\ m;\ A=0{,}01\ m^2;\ I=0{,}5\ A;\ \mu_0=1{,}25 \cdot 10^{-6}\ \frac{Vs}{Am}$

المطلوب: حساب كل من وصلية التدفق (Θ) بوحدة (A) وشدة المجال (H) بوحدة (A/m) وكثافة التدفق المغنطيسي (B) بوحدة (T) والتدفق المغنطيسي (Φ) بوحدة (Wb).

الحل:

$$\Theta=I \cdot N=0{,}5\ A \cdot 1200=600\ A$$
$$H=\frac{I \cdot N}{l}=\frac{600\ A}{0{,}6\ m}=1 \cdot 10^3\ \frac{A}{m}$$
$$B=\mu_0 \cdot H=1{,}25 \cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am} \cdot 10^3\frac{A}{m}=1{,}25 \cdot 10^{-3} T$$
$$\Phi=B \cdot A=1{,}25 \cdot 10^{-3}\ T \cdot 0{,}01\ m^2=1{,}25 \cdot 10^{-5}\ Wb$$

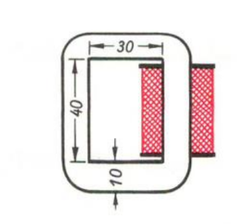
مثال ٢: ملف طوله 60 cm ومساحة مقطعه $16\ cm^2$ وعدد لفاته $N=2000$، إحسب شدة التيار الواجب مروره إذا كانت كثافة التدفق B المطلوبة داخل الملف $5 \cdot 10^{-2}\ T$.

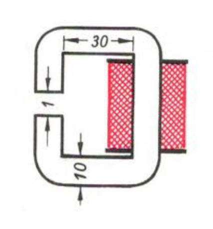
المعطيات: $l=60\ cm;\ A=16\ cm^2;\ N=2000;\ B=5 \cdot 10^{-2}\ T$

المطلوب: حساب التيار I بالأمبير A.

الحل:

$$H=\frac{B}{\mu_0}=\frac{5 \cdot 10^{-2} Vs/m^2}{1{,}25 \cdot 10^{-6} Vs/Am}=4 \cdot 10^4\ \frac{A}{m}$$
$$I=\frac{H \cdot l}{N}=\frac{4 \cdot 10^4 A \cdot 0{,}6\ m}{m \cdot 2000}=12\ A.$$





١٣٠ - ١ تحديد مسار المجال بواسطة إطار فولاذي.
١٣٠ - ٢ شكل مثال ٢.

٦-٤-٣ حساب الملفات ذات القلوب الحديدية (المغنطيسات الكهربائية) بالإستعانة بمنحنى التمغنط

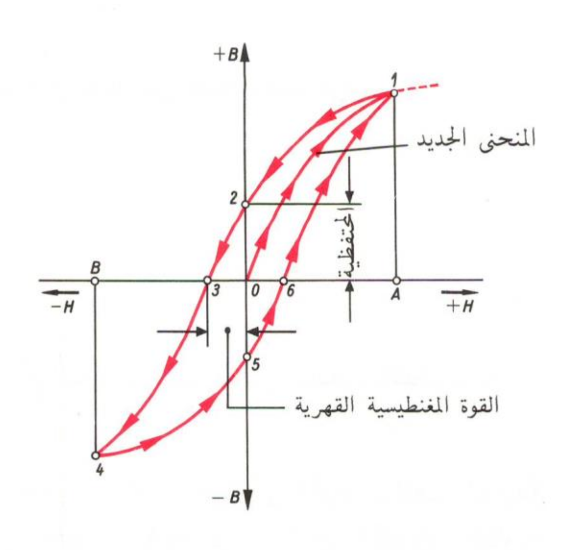
من الناحية العملية يصادف توزيع الملف صعوبات على طول مسار المجال، لذلك فإننا نستفيد من تفضيل المجال المغنطيسي دائما لمسار في الفولاذ عنه في الهواء، وذلك بملء المسار المطلوب للمجال بالفولاذ. فإذا حددنا مسار المجال المطلوب بالشكل المستطيل كما في شكل (١٣٠-١)، بواسطة إطار من الفولاذ، فإنه لا يلزم توزيع الملف حينئذ على طول مسار خطوط المجال، وإنما يُكتفى بوضعه في وضع مناسب. والميزة الأخرى التي نحصل عليها هي أن نفس شدة التيار تولد تدفقا مغنطيسيا أكبر كثيرا. وفي الملف ذى القلب الهوائي تزداد كثافة التدفق B في القلب الخالي للملف بنفس نسبة زيادة التيار، أي أن مضاعفة التيار تولد ضعف كثافة التدفق.

أما إذا وضع قلب فولاذي في القلب الخالي للملف (مغنطيس كهربائي) فإن كثافة التدفق ترتفع أولا بقدر أكبر، إلا أن القلب الفولاذي يتشبع مع زيادة كثافة التدفق. وحينئذ ينتج عن مضاعفة التيار إرتفاع طفيف فقط في كثافة التدفق (شكل ١٢٦-١). وتتباين الأنواع المختلفة من الفولاذ في خواصها. ففولاذ الصب يمغنط بسهولة أكبر وشدة أعلى من حديد الزهر. وقد تم تحديد شدة التيار اللازمة لتوليد كثافة تدفق معينة لكل نوع من أنواع الفولاذ وذلك عن طريق تجارب تسجل نتائجها بالرسم. ومن الأفضل رسم B كدالة لشدة المجال H وليس للتيار I بالنسبة للحسابات الهندسية.

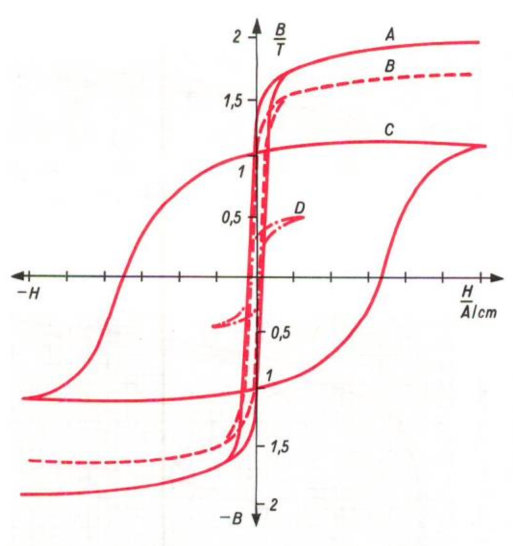
٦-٤-٤ التمييز بين المواد المغنطيسية تبعا لشكل منحنى التخلف المغنطيسي (شكل ١٣١-١)

في هذا المنحنى ترسم علاقة كثافة التدفق المغنطيسي B مع شدة المجال H. توضع المادة الفيرومغنطيسية (من الفولاذ) التي لم تمغنط بعد والمراد فحصها، في ملف ذى قلب هوائي. ثم تزاد شدة التيار بالتدريج وبالتبعية شدة المجال بالملف وتقاس قيم كل من كثافة التدفق B وشدة المجال المغنطيسي H. وتتوقف المغنطة عند نقطة التشبع (1)، لأن الإستمرار في زيادة شدة المجال لقيم أعلى من A لا جدوى منه. بعد ذلك تخفض شدة التيار الى الصفر، فتقل كثافة التدفق الى النقطة (2) فقط على المنحنى، وتبعا لذلك فإن المادة موضوع الفحص لا تزال تحتوي على كثافة تتناسب مع المسافة 0-2، وتسمَّى بالمحتفظية (المغنطيسية المتبقية). ولإزالة المحتفظية يجب تكوين مجال مغنطيسي في الإتجاه المضاد، أي أنه يجب أن يصبح التيار مؤثرا في الإتجاه المضاد. وتناظر شدة المجال اللآزمة للإزالة المسافة 3-0 (على المنحنى)، وتسمى بالقوة المغنطيسية القهرية. ويتبع زيادة شدة التيار بعد ذلك إرتفاع في كثافة التدفق الى القيمة القصوى 4 (التشبع في الإتجاه الآخر). وعند العودة ثانية بشدة المجال الى الصفر تظهر مرة أخرى مغنطيسية متبقية (5). وتزال المغنطيسية المتبقية بزيادة شدة المجال في الإتجاه الأول بواسطة القوة المغنطيسية القهرية. ويمثل جزء المنحنى 1-6 مسار المغنطة الجديد. ويسمى منحنى العلاقة الناتج بالمنحنى الأنشوطي للتخلف المغنطيسي. وتعطي مساحة الأنشوطة فكرة عن المادة.

تميز المواد الفيرومغنطيسية ذات المنحنى الأنشوطي العريض بأن لها مغنطيسية متخلفة كبيرة، أي أنها ملائمة لإنتاج المغنطيسات الدائمة. أما المواد الفيرومغنطيسية ذات المنحنى الأنشوطي الضيق فتكون المغنطيسية المتخلفة بها ضئيلة، وتكون بذلك ملائمة للمغنطيسات الكهربائية.



١٣١ – ١ أ) المنحنى الأنشوطي للتخلف المغنطيسي (عام) .



١٣١ – ١ ب) منحنيات التمغنط لعدة مواد . A = حديد مغنطيسي لين لا سبائكي . B = صاج محولات (دينامو) يحتوي على السليكون . C = دائم ضعيف ، D = فريت .

ويستخدم في التطبيق العملي منحنى يناظر القيمة المتوسطة للأنشوطة . ولما كان المنحنى متماثلا أعلى المحور الأفقي وأسفله ، فإنه يكفي الجزء الواقع فوق المحور الأفقي لتمييز المادة . ويسمى هذا المنحنى بمنحنى التمغنط . ويمكن من هذه المنحنيات ، على سبيل المثال ، معرفة أنه للحصول على كثافة تدفق B = 1 T يلزم 100 A لكل متر من مسار المجال في حديد الزهر ، في حين أنه يمكن الحصول على نفس مقدار كثافة التدفق في صاج المولدات بواسطة 3 A فقط (شكل ١٣٢–١) .

مثال ١ : ما هي شدة التيار اللازم مروره في ملف عدد لفاته N = 500 (شكل ١٣٠–١) ، إذا لزم توليد كثافة تدفق B = 1 T في قلب من صاج المولدات؟

المطلوب : حساب شدة التيار بوحدة (A)

المعطيات : B = 1 T; N = 500 ، يحدد l_m من الرسم بشكل (١٣٠–١) .

الحل : ١ – يحسب الطول المتوسط l_m للمجال المغنطيسي من مجموع مسافتين مستقيمتين طول كل منهما 40 mm زائد مسافتين مستقيمتين طول كل منهما 30 mm زائد أربعة أقواس ربع دائرية نصف قطرها 5 mm .

$$l_m = 80 + 60 + 10 \cdot 3{,}14 = 171{,}4 \text{ mm} = 17{,}14 \text{ cm}$$

٢ – تقرأ قيمة شدة المجال اللازمة من المنحنيات بشكل (١٣٢–١) . للحصول على (B = 1 T) في صاج المولدات يلزم 3 A/cm = 300 A/m . ولمسار خطوط مجال بطول 0,1714 m تلزم وصلية تدفق :

$$\Theta = 0{,}1714 \text{ m} \cdot 300 \text{ A/m} = 51{,}42 \text{ A}$$

عند : N = 500 تكون : $I = \frac{\Theta}{N} = 0{,}102 \text{ A}$

مثال ٢ : ما هي القيمة التي يجب أن يضبط عندها التيار ، إذا كان المغنطيس الكهربائي (مثال ١) يحتوي على ثغرة هوائية قدرها 1 mm في مساحة مقطع الفولاذ؟ (شكل ١٣٠–٢) . عَلِّق على النتائج.

الحل : تبعا لمثال (١) فإن طول مسار المجال في الفولاذ يبلغ الآن

$$l_m = 17{,}14 \text{ cm} - 0{,}1 \text{ cm} = 17{,}04 \text{ cm}$$

وتبلغ شدة التيار اللازمة لهذا الطول من صاج المحولات

$$0{,}1704 \text{ m} \cdot 300 \text{ A/m} = 51{,}12 \text{ A}$$

أما في الثغرة الهوائية فإن

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1 \text{ Vs/m}^2}{1{,}25 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}} = 8 \cdot 10^5 \text{A/m}$$

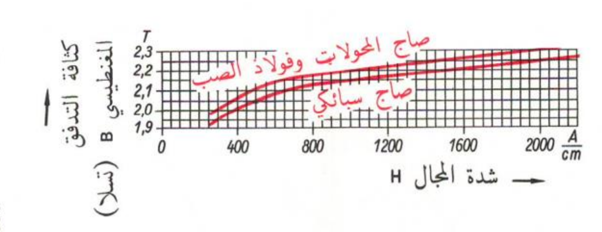
أي أنه لثغرة هوائية قدرها 0,1 cm يلزم تيار شدته

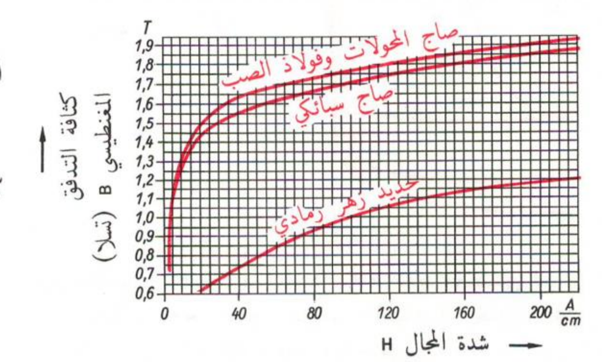
$$0{,}001 \text{ m} \cdot 8 \cdot 10^5 \text{ A/m} = 800 \text{ A}$$

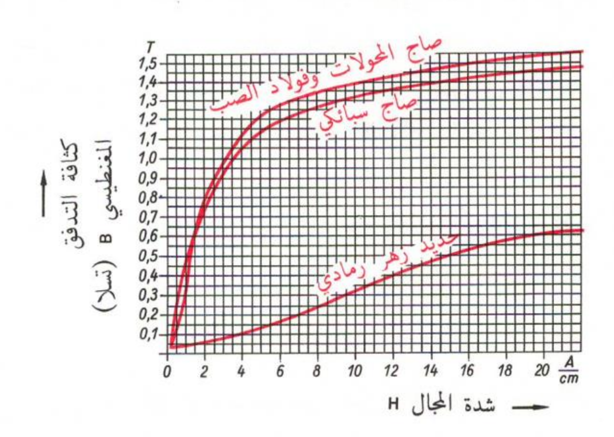
وبذلك يلزم للثغرة الهوائية الصغيرة نحو سبعة عشر مثل التيار اللازم في مثال (١) .

$$\Theta = \Theta_1 + \Theta_{st} = 800 \text{ A} + 51{,}12 \text{ A} = 851{,}12 \text{ A};\; I = \frac{\Theta}{N} = \frac{851{,}12 \text{ A}}{500} = 1{,}7 \text{ A}$$

١٣٢ - ١ منحنيات التمغنط لأنواع مختلفة من الفولاذ وحديد الزهر.







تمرينات

١ - ما هي العوامل التي يتوقف عليها مقدار التدفق المغنطيسي؟

٢ - تعتبر المقاومة المغنطيسية للجزء الفولاذي المحيط بالملف كمقاومة داخلية لمصدر الجهد المغنطيسي. اشرح المقصود بمقاومة التوصيل المغنطيسي ومقاومة التحميل.

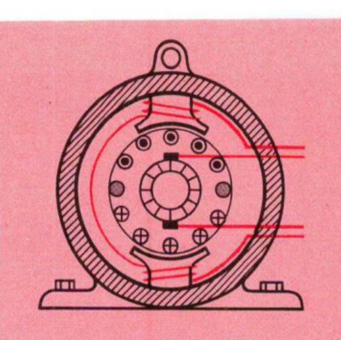
٣ - لملف ذي قلب هوائي هبوط في الجهد (شدة المجال) H = 5000 A/m ، وبوضع قلب فولاذ للملف نفسه نجد أنه يكفي 6 A/m . كيف يمكن تفسير هذه الحقيقة؟

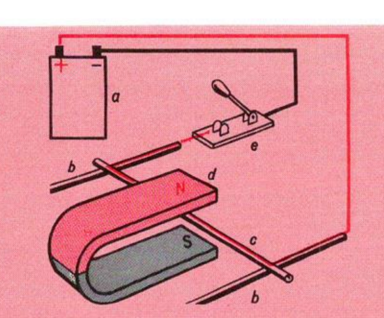
٦-٥ الموصل الحامل للتيار في المجال المغنطيسي

المطلوب بحث ما إذا كان يحدث تأثير قوة على موصل حامل للتيار عند وضعه في مجال مغنطيسي.

٦-٥-١ حركة الموصل الحر الحركة والحامل للتيار في المجال المغنطيسي (انظر التجربة ٤٧)

يتركب محرك التيار المستمر أساسا من العضو الثابت والعضو الدوار. يحمل العضو الثابت الملفات المغنطيسية التي تولّد المجال المغنطيسي، ويحمل العضو الدوار اللفائف، فإذا ما سرى تيار في لفائف العضو الدوار (عضو الإنتاج الكهربائي) فإنه يتحرك في المجال المغنطيسي (انظر الشكل في التجربة (٤٧) صفحة ١٣٣).





مخطط التجربة والرسم التخطيطي لمحرك يعمل بالتيار المستمر . يتوقف عمل المحرك على تأثير القوة الناتجة من المجال المغنطيسي على الموصلات الحاملة للتيار .

التجربة ٤٧ النظرية الأساسية لمحرك يعمل بالتيار المستمر

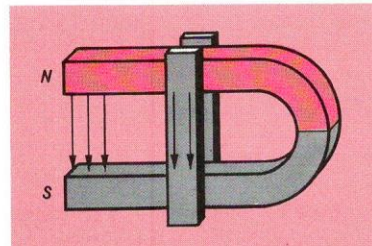
a = مصدر للجهد المستمر .
b = إبر حياكة كقضبان للتوصيل .
c = إبرة حياكة كموصل متحرك .
d = مغنطيس حدوة حصان .
e = مفتاح كهربائي .

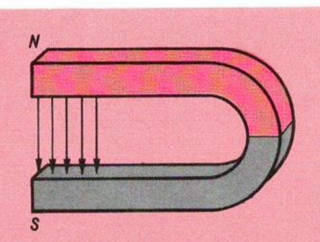
خطوات العمل :صل دائرة التيار لمدة قصيرة ، ولاحظ الموصل حر الحركة .

المشاهدة : يتحرك الموصل حر الحركة في المجال المغنطيسي ، إذا ما سرى فيه تيار (النظرية الأساسية لمحرك يعمل بالتيار المستمر) .

النتيجة : للمجال المغنطيسي قوة مؤثرة على الموصل .

٦-٥-٢ العوامل المختلفة التي يتوقف عليها تأثير قوة المجال المغنطيسي على الموصل الحامل للتيار





بوضع ألواح من الفولاذ على المغنطيس يضعف المجال المغنطيسي عند الأقطاب .

التجربة ٤٨ العوامل المؤثرة على مقدار تأثير القوة

التجهيزات : كما في التجربة ٤٧ ، مضاف إليها لوحان من الفولاذ .

خطوات العمل :١ - صل الدائرة ، ولاحظ الموصل .
٢ - أضعف المجال المغنطيسي بوضع اللوحين على جانبي المغنطيس ولاحظ الموصل .
٣ - مرِّر تيارات كبيرة مختلفة في الموصل المتحرك ولاحظ الموصل .
٤ - غيّر المسافة بين قضبان التوصيل :
أ) مسافة صغيرة .
ب) مسافة أكبر .
ج) مسافة أكبر من عرض المغنطيس .
شاهد الموصل في كل وضع من هذه الأوضاع .

المشاهدة : في الخطوتين (١) و (٢) : كلما زادت كثافة التدفق ، زادت القوة المحركة .
في الخطوة (٣) : يزداد تأثير القوة بزيادة مقدار التيار .
في الخطوة (٤) : يزداد تأثير القوة ، كلما زاد طول الموصل الموجود في المجال المغنطيسي .

النتيجة : تزداد القوة المحركة مع زيادة كثافة التدفق وشدة التيار والطول الفعال للموصل : $F=B \cdot I \cdot l$

٦-٥-٣ اتجاه الحركة لموصل حامل للتيار في المجال المغنطيسي

التجربة ٤٩ يؤثر اتجاه كل من المجال والتيار على اتجاه الحركة.

التجهيزات: كما في التجربة (٤٧)

خطوات العمل: ١- اعكس وضع مغنطيس حدوة الحصان، أي أن اتجاه المجال المغنطيسي يتغير، ولاحظ الموصل.

٢- أبدل قطبي مصدر الجهد ولاحظ الموصل.

٣- غيّر اتجاه كل من المجال المغنطيسي والتيار في آن واحد.

المشاهدة: في الخطوة (١): يتحرك الموصل في الاتجاه المضاد مع استمرار سريان التيار في نفس الاتجاه وعكس اتجاه المجال المغنطيسي.

في الخطوة (٢): يتحرك الموصل في الاتجاه المضاد أيضا مع استمرار تدفق المجال المغنطيسي في نفس الاتجاه وعكس اتجاه التيار.

في الخطوة (٣): عند عكس اتجاه التيار والمجال المغنطيسي في آن واحد، تكون الحركة كما لو أن شيئا لم يتغير.

النتيجة: يتحدد اتجاه حركة موصل حامل التيار في مجال مغنطيسي باتجاه التيار واتجاه المجال.

ملاحظة: يمكن تحديد اتجاه حركة الموصل بواسطة رسم تخطيطي (شكل ١٣٤-١).

٦-٥-٤ حساب قوة التنافر

أثبتت التجربة ٤٨ أن: $F = B \cdot I \cdot l$

مثال: احسب قوة التنافر المؤثرة على موصل طوله 40 cm، إذا مر فيه تيار شدته 25 A وكان موجودا في مجال مغنطيسي كثافة تدفقه B = 1 T.

المعطيات: $l = 40\ \text{cm};\ I = 25\ \text{A};\ B = 1\ \text{T} = 1\ \text{Vs/m}^2$

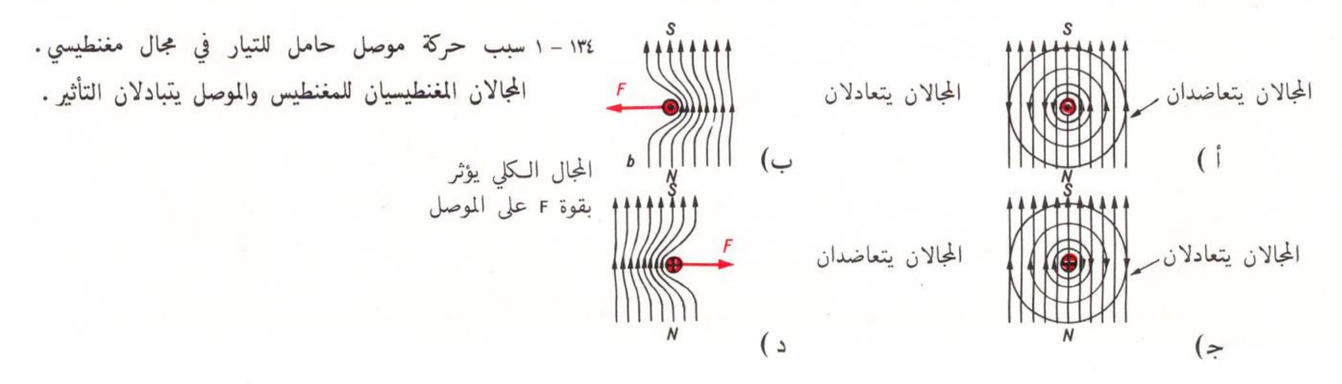
المطلوب: حساب قوة التنافر F بوحدة (N).

الحل: $$F = B \cdot I \cdot l = \frac{1\ \text{Vs} \cdot 25\ \text{A} \cdot 0{,}4\ \text{m}}{\text{m}^2} = 10\ \frac{\text{Vs} \cdot \text{A}}{\text{m}} = 10\ \frac{\text{Ws}}{\text{m}} = 10\ \frac{\text{Nm}}{\text{m}} = 10\ \text{N}$$

تمرينات

١- اذكر أمثلة تطبيقية للإستفادة من القوة المؤثرة لموصل حامل للتيار موضوع في مجال مغنطيسي.

٢- ما هو نص النظرية الأساسية للمحرك الكهربائي؟



١٣٤-١ سبب حركة موصل حامل للتيار في مجال مغنطيسي. المجالان المغنطيسيان للمغنطيس والموصل يتبادلان التأثير.

٧ - الحث الكهربائي

يمكن التمييز بين :

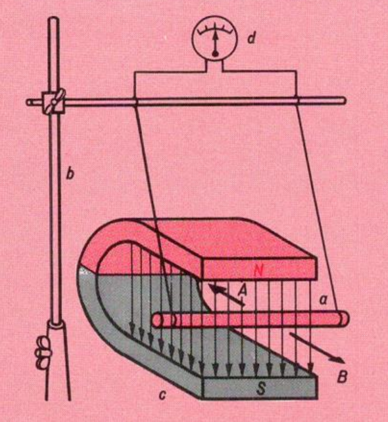
- توليد الجهد بحثّ الحركة .
- توليد الجهد بحثّ السكون .
- توليد الجهد بالحثّ الذاتي .

٧-١ توليد الجهد بحثّ الحركة

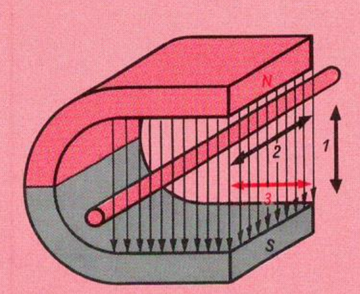
تبعا للتجربة (٤٧) يتحرك الموصل الحر الحركة والحامل للتيار إذا وجد في مجال مغنطيسي . وهنا يمكن التساؤل : هل يكون العكس أيضا صحيحا ، أي هل يمر تيار إذا تحرك الموصل؟

٧-١-١ المجالات المغنطيسية وتوليد الجهد في الموصلات الكهربائية

١٣٥ - توليد الجهد بالحث .
مخطط التجربة



تأثير الحث موضح بخطوط المجال : يتولد الجهد فقط ، إذا ما قطع الموصل خطوط المجال (اتجاه السهم 3) .



التجربة ٥٠ عند تحريك موصل كهربائي في مجال مغنطيسي يتولد جهد بين أطرافه .

التجهيزات : a = موصل كهربائي متحرك (متأرجح) .
b = حامل
c = مغنطيس حدوة حصان
d = ڤولطمتر أو أمبيرمتر حساس مدى القياس به 2 mA ، صفر التدريج في الوسط .

خطوات العمل : ١ - علِّق الموصل بحيث يتأرجح بين فكَّيْ المغنطيس (اتجاه السهم 3) لاحظ مؤشر جهاز القياس .
٢ - علِّق الموصل ثابتا ، وأكمل كما في الخطوة (١) .
٣ - علِّق الموصل ثابتا وحرك المغنطيس الدائم بسرعة .
٤ - اعكس المغنطيس الدائم ، أي اتجاه المجال المغنطيسي وأكمل كما في الخطوة (٣) .

المشاهدة :

	حركة الموصل	إنحراف المؤشر
في الخطوة (١)	يتحرك في الاتجاه A	إلى اليمين
في الخطوة (١)	يتحرك في الاتجاه B	إلى اليسار
في الخطوة (٢)	لا يتحرك	صفر
في الخطوة (٣)	انحرافات المؤشر كما في الخطوة (١)	
في الخطوة (٤)	اتجاه الجهد عكس ما في الخطوة (٣)	

النتيجة : يتولد جهد في الموصل طبقا للآتي : أ) إذا تحرك الموصل خلال مجال المغنطيسي في اتجاه السهم 3، ب) إذا ظل ساكنا وتحرك المجال المغنطيسي. ويتولد جهد في عكس الاتجاه، إما بعكس اتجاه الحركة أو بعكس اتجاه المجال.

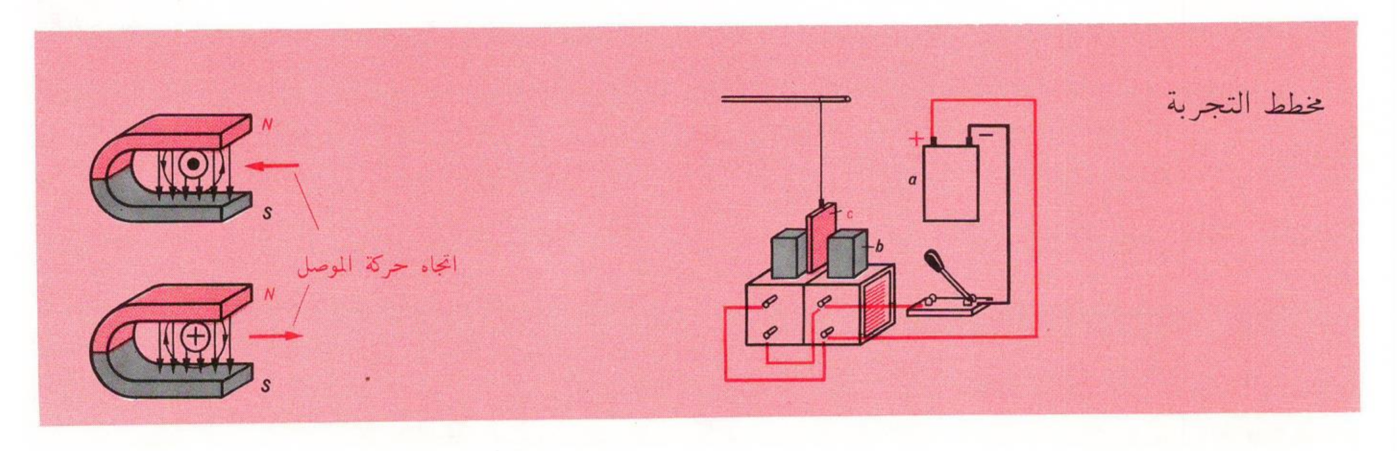
يتولد الجهد بتحريك الموصلات في المجال المغنطيسي أو بتحريك المجال المغنطيسي. يكون الموصل الكهربائي (التجربة ٥٠) مع أسلاك توصيله بجهاز القياس أنشوطة موصلة، أي ملفا ذا لفة واحدة (شكل ١٤٢-١). وبوضع الأنشوطة في مجال مغنطيسي (في التجربة (٥٠) بدفعها فوق أحد فكي مغنطيس حدوة حصان) - فإنها تحاط بجزء معين من المجال المغنطيسي. فإذا ما حركت الأنشوطة الموصلة في اتجاه السهم 3، فإن شدة المجال المغنطيسي الذي تحاط به تتغير في كل لحظة. وبذلك يتولد جهد في الأنشوطة الموصلة بغض النظر عن كيفية تغير قيمة المجال المغنطيسي المحيط بها. وقد أوضحت التجربة (٥٠) أنه سواء تحركت الأنشوطة الموصلة أو تحرك المجال المغنطيسي فإن اتجاه الجهد المولّد يعتمد على اتجاه المجال واتجاه حركة الموصل.

ملاحظة : إذا تغيرت قيمة المجال المغنطيسي الذي تحيط به الأنشوطة الموصلة، تولّد بها جهد. وإذا حركت الأنشوطة الموصلة في اتجاه السهم 1 أو 2، فإن مقدار المجال المغنطيسي لا يتغير ولا يتولد أي جهد.

٧-١-٢ قانون لينز

يتحدد اتجاه التيار الناتج من الجهد المستحث تبعا لقانون لينز.

مخطط التجربة



التجربة ٥١ يحاول التيار الناتج من الجهد المستحث منع تحرك الموصل .

التجهيزات : a = مصدر جهد
b = مغنطيس كهربائي
c = ملف مسطَّح .

خطوات العمل : ١ - حرك الملف المسطح بين قطبي المغنطيس الكهربائي .
٢ - أقصر دائرة الملف المسطح ثم حركه بين قطبي المغنطيس الكهربائي .

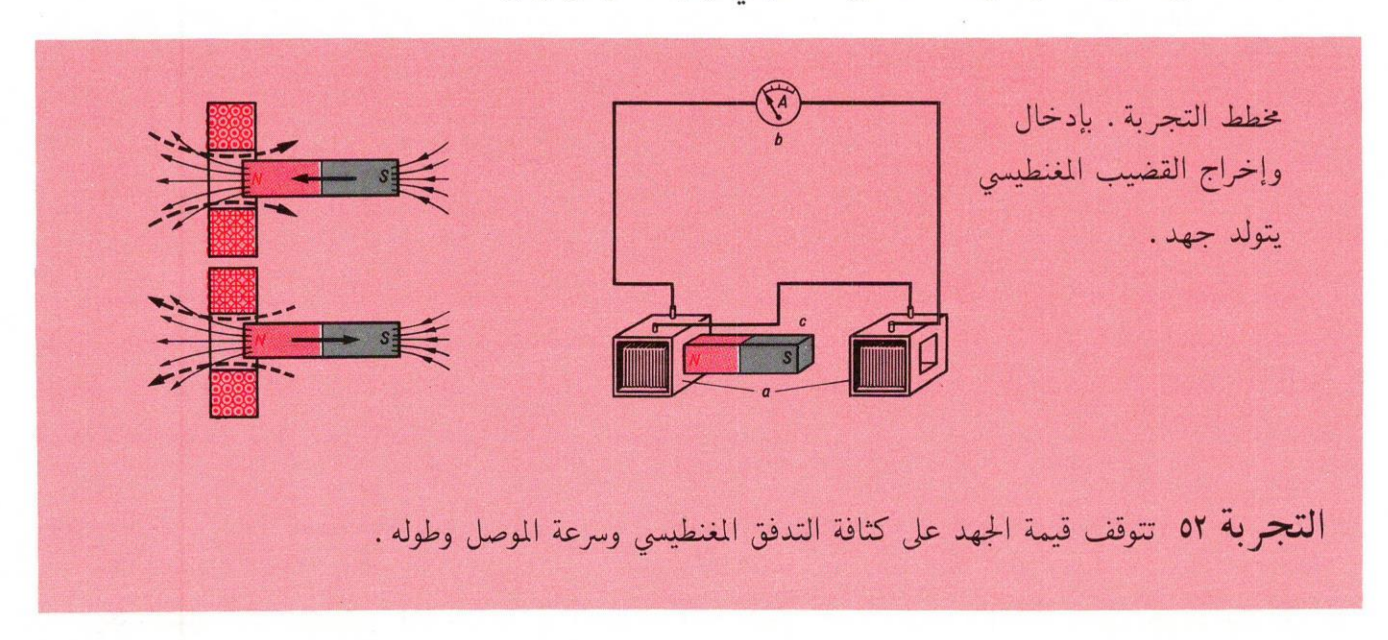
المشاهدة : في الخطوة (١) : يتحرك الملف دون مقاومة تذكر .
في الخطوة (٢) : نلاحظ أثناء الحركة وجود قوة مضادة لاتجاه الحركة .

النتيجة : قانون لينز* : يولّد الجهد المستحث في موصل مقفل تيارا يكون اتجاهه دائما بحيث يحاول أن يعوق المسببات التي أدت إلى نشوئه .

ملاحظة : قانون لينز ما هو إلا صورة خاصة لقانون الطاقة .

يمثل الملف المقفل (التجربة ٥١) دائرة كهربائية مقفلة . وعند الحركة يولّد الجهد الناتج في الملف تيارا . وبذلك لا يمكن أن يكون مسبب القوة المضادة (المعاكسة) سوى هذا التيار . وحيث أن التيار طبقا لقانون لينز - يحاول أن يعوق حركة الموصل ، فيجب أن يولّد حول الموصل مجالا مغنطيسيا حلقي الشكل يؤدي إلى تقوية المجال على الجهة من الموصل التي يتحرك إليها (الشكل في التجربة ٥١) . وطبقا لقانون بقاء الطاقة ، يجب بذل شغل ميكانيكي للحصول على شغل كهربائي . فإذا افترضنا أن التيار يتخذ عكس الاتجاه الماثل عند زيادة المجال المغنطيسي المار في مقطع الملف ، فإن مجالا مغنطيسيا إضافيا يتولد في نفس الاتجاه بسبب التيار ، وبذلك يقوى المجال المغنطيسي الموجود من قبل . وتتكرر العملية وتتزايد وتصبح لدينا حركة ذاتية دائمة . (باللاتينية : Perpetuum mobile)

٧-١-٣ العلاقة بين الجهد المتولد وكثافة التدفق المغنطيسي وسرعة الموصل وطوله



مخطط التجربة . بإدخال وإخراج القضيب المغنطيسي يتولد جهد .

التجربة ٥٢ تتوقف قيمة الجهد على كثافة التدفق المغنطيسي وسرعة الموصل وطوله .

* لينز Lenz ، ألماني ، روسي الجنسية ، ١٧٨٥-١٨٤٥ .

التجهيزات : a = ملفّان N=600 ، N=1200
b = جهاز قياس ، مدى القياس 2 mA وصفر التدريج في الوسط .
c = قضيبان مغنطيسيان

خطوات العمل : ١ – ادخل القضيب المغنطيسي بسرعة ثابتة بقدر الإمكان في الملف واخرجه بعد برهة ولاحظ جهاز القياس .

٢ – حرّك القضيب المغنطيسي مرة بسرعة ثم ببطء بقدر الإمكان ولاحظ جهاز القياس .

٣ – كرّر العمل كما في الخطوة (١) مستخدما قضيبين مغنطيسيين (كثافة التدفق مضاعفة) .

٤ – كرّر العمل كما في الخطوة (١) ولكن باستخدام الملف N=1200 .

المشاهدة : في الخطوة (١) : يتولد جهد في الملف ، مادام القضيب المغنطيسي متحركا . ويعتمد اتجاه الجهد على اتجاه حركة القضيب المغنطيسي .

في الخطوة (٢) : بالحركة السريعة نحصل على قيمة كبيرة للجهد لفترة قصيرة ، وبالحركة البطيئة نحصل على قيمة صغيرة للجهد ولكن لفترة أطول .

في الخطوة (٣) : نحصل على قيمة مضاعفة للجهد بمضاعفة مقدار كثافة التدفق مع نفس السرعة كما في (١) .

في الخطوة (٤) : يتضاعف انحراف المؤشر . وكلما زاد عدد لفات الملف زاد الجهد . ويساوي الجهد المتولد مجموع الجهود في اللفات المنفردة .

النتيجة : يزداد الجهد المتولد كلما زادت كثافة التدفق B وسرعة تغير المجال v وكلما زاد عدد لفات الملف أي زاد طول الموصل : $U_0 \approx B \cdot l \cdot v \cdot N$.

المجال المغنطيسي والملف : إذا تغير المجال المغنطيسي الذي يحيط به ملف فإن جهدا يتولد في كل لفة من لفات الملف . وقد أوضحت التجربة (٥٢) أن اتجاه الجهد المتولد يعتمد على ما إذا كانت شدة المجال الذي يحاط به الملف تزداد أو تقل . وبإدخال المغنطيس في الملف تزداد شدة التدفق المغنطيسي من الصفر إلى قيمتها العظمى ، فينحرف مؤشر الڤولطمتر في اتجاه معين . أما إذا وضع المغنطيس في الملف دون حركة فإنه لا يتولد أي جهد بالحث ، لأن شدة التدفق المغنطيسي لا تتغيّر . وإذا سحب المغنطيس خارج الملف تقل شدة التدفق المغنطيسي من القيمة العظمى إلى الصفر ، وينحرف المؤشر عندئذ في الاتجاه المضاد .

ويتحدد اتجاه الجهد المتولد تبعا لقانون لينز : عند إدخال المغنطيس في الملف فإن التيار المار في الملف يحاول أن يعوق زيادة التدفق المغنطيسي ، لذلك فهو يولّد في الملف مجالا مغنطيسيا مضادا في الاتجاه لمجال القطب المغنطيسي (الشكل في التجربة ٥٢) . أما عند سحب المغنطيس فإن التيار يحاول إعاقة الانخفاض في التدفق المغنطيسي في الملف ، فيولد تدفقا مغنطيسيا في نفس اتجاه مجال القضيب المغنطيسي .

وتوضح التجربة (٥٢) أيضا لماذا يمكن أن نعطي مقدار التدفق المغنطيسي بالڤولط ثانية (شكل ١٣٩–١) .

ويمكن تمثيل نتائج الخطوتين (٢) ، (٣) في التجربة (٥٢) تمثيلا جيدا بالرسم ، وذلك برسم العلاقة بين كل من التدفق المغنطيسي والجهد المتولد مع الزمن . وفي شكل (١٣٩–١) يتحرك المغنطيس بسرعة ، أي أن مقدار المجال يتغير بسرعة ، فهو يزداد في خلال ثانية واحدة من الصفر حتى قيمته العظمى .

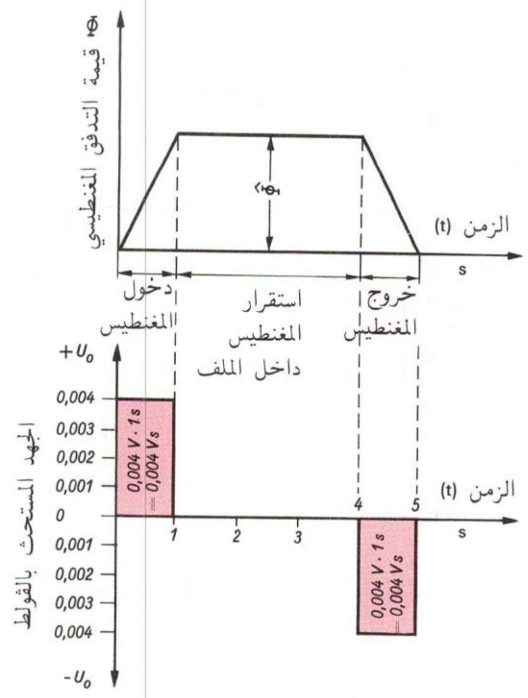
يرتفع منحنى شدة التدفق المغنطيسي Φ ارتفاعا سريعا فيولد مقدارا أعلى للجهد ويفترض هنا 0,004 V لفترة قصيرة (ثانية واحدة) (شكل ١٣٩-١ ب) وفي شكل (١٣٩-٢أ) يتحرك نفس المغنطيس بنصف السرعة ولذلك يبطؤ أيضا تغير المجال. وترتفع شدة التدفق المغنطيسي Φ بمعدل أقل منه في شكل (١٣٩-١أ) وتستحث نصف قيمة الجهد (0,002 V) ولكن لضعف المدة (ثانيتين) (شكل ١٣٢-٢ ب).

بمقارنة شكل (١٣٩-١ب) مع شكل (١٣٩-٢ب) يلاحظ أن المستطيلات المحصورة بمنحنى الجهد لها نفس المساحة في كل من الحالتين (0,004 Vs). والمستطيل في الحالة الأولى مرتفع وضيق. أما في الحالة الثانية فهو أقل ارتفاعا وأكثر اتساعا.

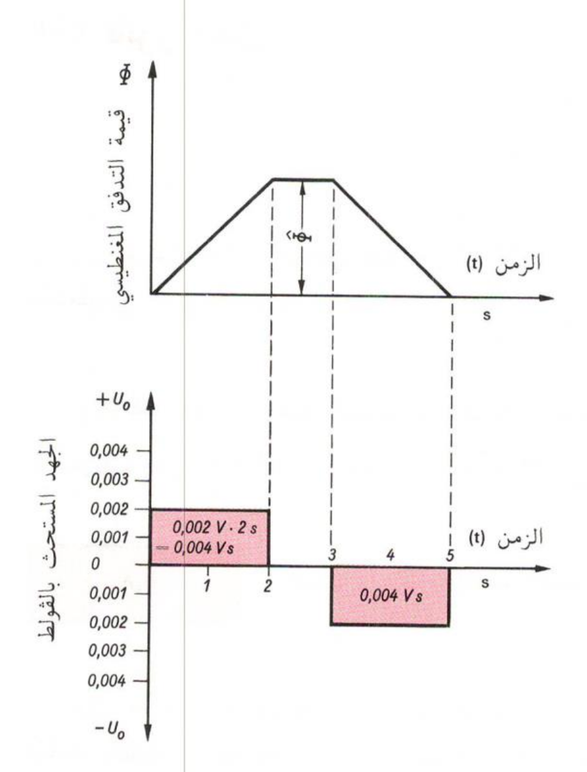
في شكل (١٤٠-١) وشكل (١٤٠-٢) تتساوى الفترة الزمنية لحركة المغنطيس، إلا أن شدة التدفق المغنطيسي Φ في شكل (١٤٠-٢أ) تبلغ ضعف ما في شكل (١٤٠-١أ). وتبعا لذلك يكون للمساحة المحصورة تحت منحنى الجهد في شكل (١٤٠-٢ب) نفس العرض كما في (١٤٠-١ب) ولكن لها ضعف الإرتفاع. والنتائج من الدراسة حتى الآن هي:

أ) يعتمد مقدار الجهد المتولد على سرعة ارتفاع منحنى التدفق المغنطيسي فقط.

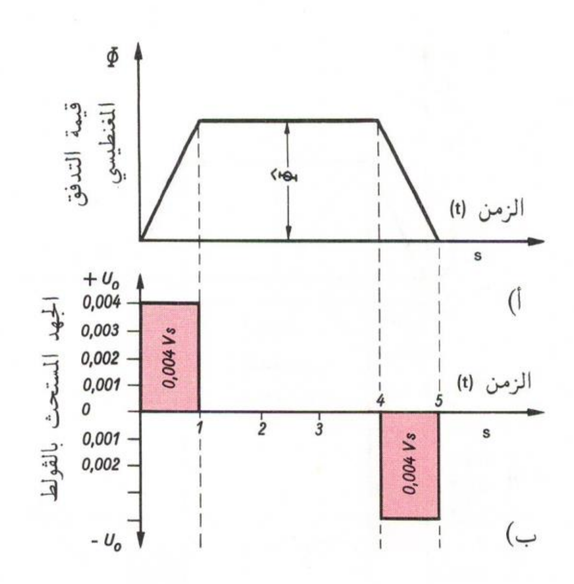
ب) يمكن أن يستخدم حاصل ضرب قيمة الجهد في الزمن (ڤولط ثانية) كمقياس لمقدار التدفق المغنطيسي، حيث أن المساحة المحصورة تحت منحنى الجهد تتناسب طرديا مع مقدار التدفق المغنطيسي.



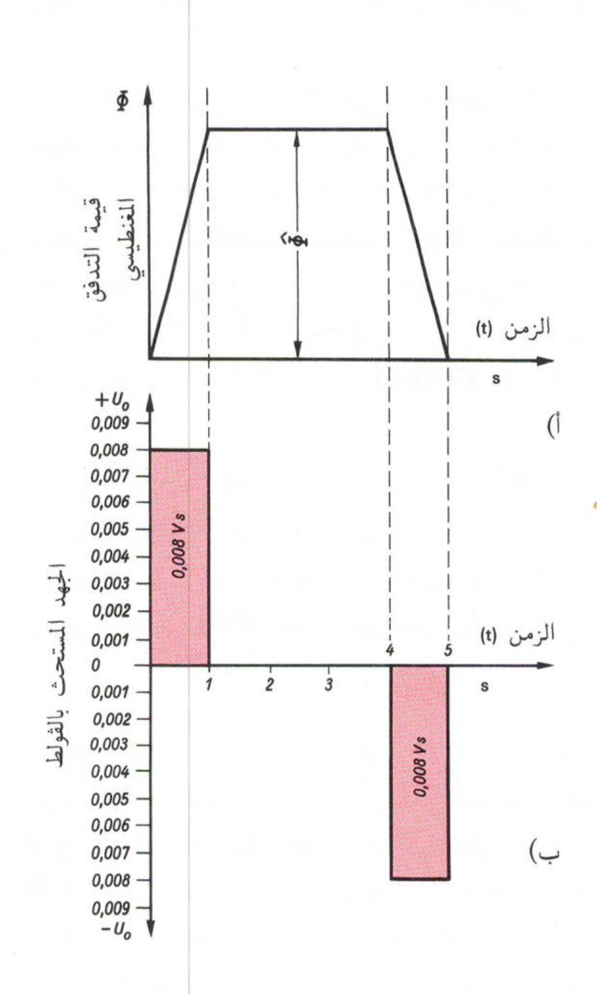
١٣٩ - ١ تعني الحركة السريعة لقضيب مغنطيسي تغيرا سريعا في التدفق المغنطيسي.



١٣٩ - ٢ تعني الحركة البطيئة لقضيب مغنطيسي تغيرا بطيئا في التدفق المغنطيسي.



١٤٠ — ١ يتولد جهد قدره 0,004 V أثناء ثانية واحدة.



١٤٠ - ٢ تتضاعف قيمة الجهد إذا ضوعفت قيمة التدفق المغنطيسي في شكل ١٤٠ - ١.

٧-٢ قانون الحث

إذا حركت لفات الموصل طبقا لشكل (١٤١-١) في الفترة الزمنية $\Delta t = t_2 - t_1$ في مجال مغنطيسي بحيث يتغير التدفق المغنطيسي الذي تحيط به لفات الموصل بمقدار $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ يتولد جهد U_o بالحث في لفات الموصل.

ويتوقف مقدار الجهد المتولد بالحث على سرعة تغير التدفق المغنطيسي في لفات الموصل (تجربة ٥٢)، أي $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$، كما يتوقف على عدد لفات الموصل (الملف) N التي تحيط بالتدفق المتغير.

$$u_o = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

حيث u_o تمثل القيمة اللحظية والتي يمكن أن تتغير في كل فترة زمنية Δt.

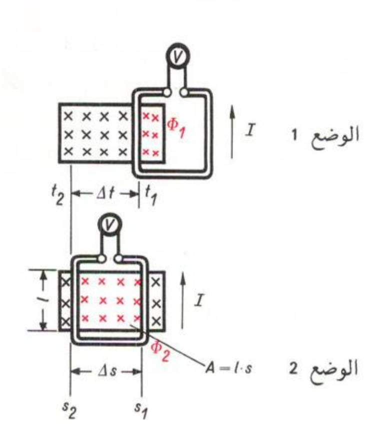
وفي حالة N=1 وبإعادة صياغة المعادلة نحصل على $\Delta \Phi = -u_o \cdot \Delta t$، وواضح هنا أيضا أن التدفق المغنطيسي Φ يمكن قياسه بالفولط ثانية (Vs) (انظر صفحة ١١٣). وتعني الإشارة السالبة أن يكون اتجاه الجهد المتولد بحيث يحدث تيارا ينتج بدوره تدفقا يحاول إعاقة التغير في التدفق الأصلي أي أن الجهد يكون في اتجاه مضاد لتغير التدفق طبقا لقانون لينز، وفي حالات عملية كثيرة يمكن اعتبار تغير التدفق مع الزمن $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ منتظما وعلى هذا الأساس يمكن كتابة $U_o = -N \cdot \frac{\Phi}{t}$.

إذا عوضنا عن $\Phi = B \cdot A$ وعن $A = l \cdot s$ (شكل ١٤١-١)

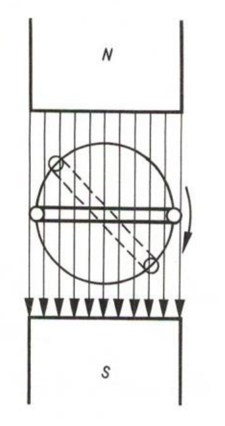
ينتج أن: $U_o = -N \cdot \frac{B \cdot l \cdot s}{t}$

ولأن $\frac{s}{t}$ هي السرعة، فإن:

$$U_o = -N \cdot B \cdot l \cdot v$$



١٤١ – ١ أ) حركة موصل أنشوطي في مجال مغنطيسي .



١٤١ – ١ ب) عادة ما تدور اللفيفة في المجال المغنطيسي .

وإذا لم يؤخذ اتجاه الجهد في المعادلة في الإعتبار فإننا نحصل على مقدار الجهد U_o فقط وصورته الرياضية $|U_o|$:

$$|U_o| = N \cdot B \cdot l \cdot v$$

ويمكن تحديد اتجاه الجهد المتولد طبقا لقانون لينز أو طبقا لقاعدة اليد اليمنى (شكل ١٤١–٢) :

ملاحظة : إذا بسطت اليد اليمنى بحيث يدخل التدفق المغنطيسي في راحة اليد، ويشير الإبهام المنبسط إلى اتجاه حركة الموصل بالنسبة للمجال، فإن الأصابع المنبسطة تعين اتجاه الجهد المتولد بالحثّ .

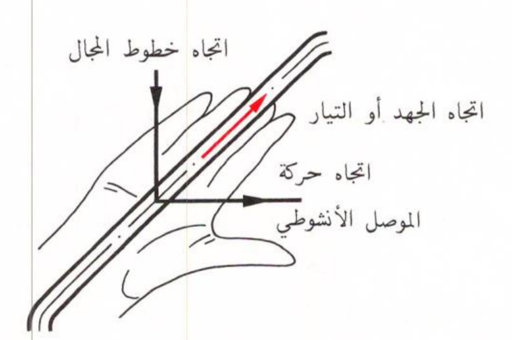
مثال ١ : ما مقدار الجهد المتولد بالحث في لفة موصل (N=1) طولها الفعال l=10 cm وتتحرك بسرعة منتظمة (v=10 cm/s) في مجال منتظم كثافة تدفقه B=1 T؟ (شكل ١٤١–١) .

المعطيات : $N=1;\ l=0{,}1\ m;\ v=0{,}1\ m/s;\ B=1\ T$

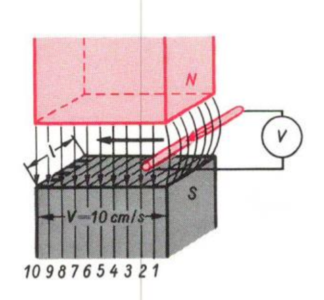
المطلوب : حساب الجهد المستحثّ (U_o) بوحدة (V) .

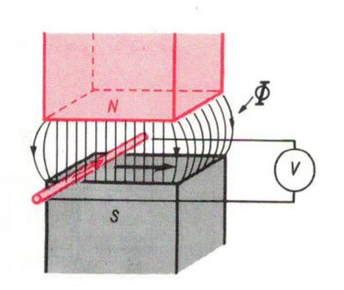
الحل : $U_o = N \cdot B \cdot l \cdot v = 1 \cdot 1 \frac{Vs}{m^2} \cdot 0{,}1\ m \cdot 0{,}1 \frac{m}{s}$

$U_o = 0{,}01\ V$



١٤١ – ٢ قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه الجهد المستحث .





١٤٢ - ١ يتولد جهد نتيجة لحركة الموصل في المجال المغنطيسي .

مثال ٢ : يتغير التدفق المغنطيسي في ملف عدد لفاته $N=2000$ بانتظام من $\Phi_1=1{,}5\cdot10^{-3}\,Vs$ إلى $\Phi_2=1\cdot10^{-3}\,Vs$ في زمن قدره $0{,}01\,s$.
احسب الجهد المتولد بالحثّ بالڤولط .

المعطيات : $N=2000;\ \Delta\Phi=\Phi_1-\Phi_2=0{,}5\cdot10^{-3}\,Vs;\ \Delta t=1/100\,s$

المطلوب : حساب جهد الحثّ (U_o) بالڤولط (V) .

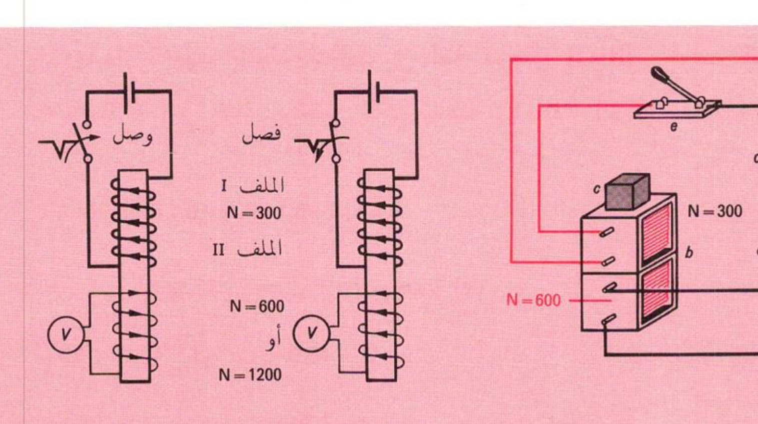
الحل : $U_o=N\cdot\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=2\cdot10^3\,\frac{0{,}5\cdot10^{-3}\,Vs}{1\cdot10^{-2}\,s}=100\,V$

تبنى النظرية الأساسية لعمل المولّد الكهربائي على توليد جهد بواسطة الحث بالحركة .

ملاحظة : يوجد في الحث بالحركة تدفق ثابت ، في حين ينشأ تغير في التدفق مع الزمن في الأنشوطة الموصلة نتيجة لحركتها .

٧-٢-١ حثّ السكون





مخطط التجربة :
مغنطيس كهربائي .
عند توصيل وقطع التيار في الملف I يتولد جهد بالحثّ في الملف II .

التجربة ٥٣ يمكن أن يحل المغنطيس الكهربائي محل حركة المغنطيس الدائم

التجهيزات : a = مصدر جهد من 4 V إلى 6 V
b = ملفات يبلغ عدد لفاتها 300, 600, 1200
c = قلب فولاذي .
d = ڤولطمتر
e = مفتاح

خطوات العمل :استخدم الملفين N=300 (ملف المغنطيس) و N=600
١ - صل الدائرة ولاحظ الڤولطمتر
٢ - افصل الدائرة ولاحظ الڤولطمتر
٣ - استبدل الملف N=600 بالملف N=1200 .

المشاهدة : في الخطوة (١) : عند وصل الدائرة يسبب الجهد المستحث تيارا في الملف II مضادا في الاتجاه للتيار في الملف I (ملف المغنطيس) (وهو ما يناظر إدخال المغنطيس. قارن بالتجربة ٥٢).

في الخطوة (٢) : عند فصل الدائرة يكون التيار الناشئ في الملف II في نفس اتجاه التيار في الملف I (ملف المغنطيس) (وهو ما يناظر إخراج المغنطيس).

في الخطوة (٣) : كلما زاد عدد لفات الملف، زاد الجهد المتولد بالحثّ.

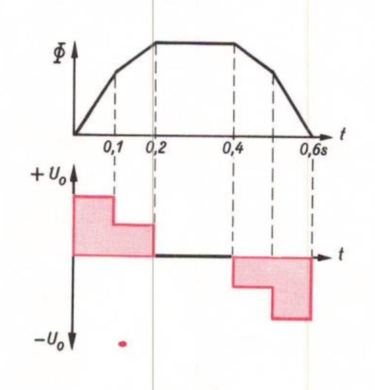
النتيجة : يتزايد المجال المغنطيسي ويتناقص عند وصل وفصل الدائرة، وخلال هذه الفترة يتولد الجهد.

ملاحظة : في حالة حث السكون (نظرية عمل المحوّل) تكون لفات الموصل ساكنة، بينما يتغير التدفق المغنطيسي الذي يقطعها مع الزمن، وهو التدفق الناشئ من مغنطيس كهربائي. وبذا تنطبق المعادلة بصفحة (١٤٠) وهي :

$$U_o = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

تمرينات

١ - وضح كيف ينشأ الجهد المتولد بكل من الحث بالحركة والحث بالسكون.
٢ - على ماذا تتوقف قيمة الجهد المتولد بالحث؟
٣ - أين يستخدم تأثير الحثّ الكهربائي في التطبيق العملي؟
٤ - استخدم في تجربة ملفا عدد لفاته 600. احسب، طبقا لقانون الحث، الجهد المتولد بالحث مقدَّرا بالقولط إذا بلغ تغير المجال المغنطيسي ($\Delta\Phi = 8 \cdot 10^{-5}$ Vs) في زمن قدره 0,08 s.
٥ - اشرح شكل (١٤٣-١) بالإستعانة بشكلي (١٤٠-١ و ١٤٠-٢).



١٤٣ - ١ شكل سؤال ٥.

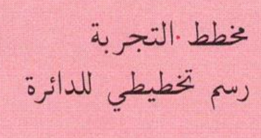
٧-٣ جهد الحث الذاتي للملفات وخاصية الحث

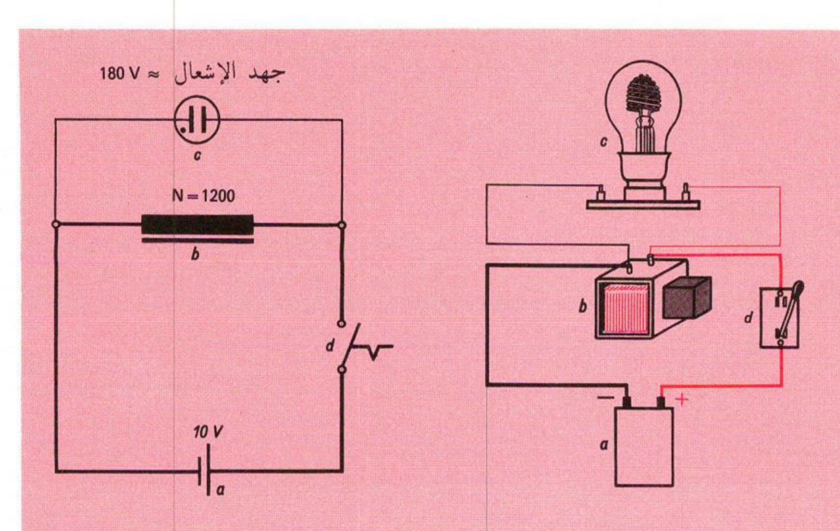
طبقا للتجربة (٥٣)، يتولد جهد بالحث في الملف II عندما يتزايد أو يتناقص المجال المغنطيسي. ولا يخترق المجال المغنطيسي الناشئ في القلب الفولاذي بواسطة الملف I لفات الملف II وحدها وإنما يخترق لفات الملف I أيضا. لذلك يجب أن يظهر في الملف I جهد يتولد بالحثّ عند وصل الدائرة وفصلها، ويسمى هذا الجهد بجهد الحثّ الذاتي لأنه يتولد في الملف نفسه.

٧-٣-١ جهد الحث الذاتي عند وصل الدائرة وفصلها (انظر التجربة ٥٤ في صفحة ١٤٤)

٧-٣-٢ عند قفل الدائرة يكون جهد الحث الذاتي مضاداً لاتجاه جهد الشبكة (مصدر التيار)، ومن ثم يتباطأ تزايد التيار عند بدء التوصيل

وطبقا لقانون لينز فإنه عند وصل الدائرة يحاول جهد الحث الذاتي منع تزايد المجال المغنطيسي، أي أنه يجب أن يؤثر تأثيرا مضادا لجهد الشبكة الموصل من الخارج، وبذلك يلغي جزءاً من الجهد الموصل من الخارج.





التجربة ٥٤ يظهر عند طرفي الملف جهد حثّ ذاتي مرتفع في لحظة فصل الدائرة.

التجهيزات : a = مصدر جهد

b = ملف (N = 1200) ذو قلب حديد مقفل.

c = مصباح تفريغ توهجي 220 V .

d = مفتاح

خطوات العمل : ١ - صل مصباح التفريغ التوهجي والملف على التوازي.

٢ - صل الجهد.

٣ - صل وافصل المفتاح بالتوالي.

المشاهدة : يضيء المصباح لفترة قصيرة عند فصل الدائرة.

النتيجة : لابد أن يكون جهد الحثّ الذاتي المتولد عند فصل المفتاح أعلى بكثير من جهد المنبع، لأن جهد الإشعال لمصباح التفريغ التوهجي يبلغ حوالي 180 V .

إذا كان جهد المنبع U ڤولط وجهد الحث الذاتي U_s ڤولط فإن الفرق بين الجهدين $(U-U_s)$ هو وحده الذي يؤثر عند نهايتي الملف في لحظة توصيل معيَّنة. ولا يمكن لهذا الجهد بالمقارنة بجهد المنبع المرتفع، إمرار سوى تيار ضعيف : $I=(U-U_s)/R$ في الملف.

وفي لحظة توصيل الدائرة يكون جهد الحث الذاتي أكبر ما يمكن، وينخفض مع زيادة كثافة التدفق المغنطيسي ويصل إلى الصفر عندما يكتمل تكوّن المجال. وعندئذ يسري تيار في الملف يبلغ تبعا لقانون أوم $I=U/R$. وعلى ذلك فإن التيار لا يرتفع فجأة، وإنما بالتدريج إلى القيمة المحددة طبقا لقانون أوم.

وتنتهي عملية تزايد التيار في الحالات العادية في جزء من الثانية، وتستغرق بضع ثوان في المغنطيسات الكهربائية الكبيرة فقط.

٧-٣-٣ اتحاد اتجاه جهد الحث الذاتي وجهد المنبع عند فصل الدائرة، ولذا يتأخر تيار الفصل

ينهار المجال المغنطيسي عند فصل الدائرة، ويحدث تغير زمني للتدفق بالملف مرة أخرى وفي الإتجاه المضاد لما يحدث عند توصيل الدائرة.

Φ تزداد

أ)

Φ تتضاءل

ب)

شكل ١٤٥ – ١ تأثير الحث الذاتي
I = التيار المار في الملف .
I_s = التيار الناتج من الجهد المستحث .
يؤثر جهد الحث الذاتي على سير التيار في الملف .
أ) عملية وصل الدائرة ، محصلة التيار المتولد $(I-I_s)$.
ب) عملية فصل الدائرة ، محصلة التيار المتولد $(I+I_s)$.

ونتيجة لذلك يتولد أيضا جهد حث ذاتي في اتجاه مضاد طبقا لقانون لينز ، يكون له نفس اتجاه جهد المنبع ، أي أنه يحاول أن يحافظ على التيار المار (شكل ١٤٥–١) . وتبعا لذلك لا يتلاشى التيار فجأة عند فصل الدائرة ، وإنما يتناقص تدريجيا إلى الصفر . وينشأ عند فصل الدائرة جهد حث ذاتي مرتفع جدا يعرض العزل في الملف للخطر . وتزداد قيمة هذا الجهد كلما زاد تيار الفصل وزادت سرعة الفصل ومحاثة الملف .

ولتقليل هذا الخطر يمكن :

- فصل التيار ببطء بواسطة مقاومات حماية متغيرة موصلة على التوالي .
- عمل دائرة قصر على لفات الملف عند الفصل .
- تركيب مقاومة واقية على التوازي مع الملف تعادل قيمتها ثلاثة إلى خمسة أمثال القيمة الأومية للملف .
- توصيل مكثف ومقاومة أومية متصلين على التوالي مع بعضهما البعض وعلى التوازي مع المفتاح .
- توصيل صمام ثنائي للإمرار الجزئي على التوازي مع الملف .

٧–٣–٤ طريقة الحصول على قيمة جهد الحث الذاتي U_s طبقا لقانون الحث

$U_s=-N\cdot\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ، وبالتعويض عن $\Delta\Phi$ طبقا لقانون أوم المغنطيسي (صفحة ١٢٨) بالقيمة $\frac{\Delta i\cdot N}{R_m}$ ينتج : $U_s=-N\,\frac{\Delta i\cdot N}{R_m\cdot\Delta t}$.

وتصاغ كما يلي :

$$U_s = -\frac{N^2}{R_m}\cdot\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

ويسمى المعامل $\frac{N^2}{R_m}$ بمعامل الحث الذاتي أو بالمحاثة ويرمز لها بالرمز L ووحدتها الهنري (H) (Henry): $1\,H=1\,\frac{Vs}{A}=1\,\Omega\cdot s$

وحدة SI المشتقة :

- 1 H هو محاثة لفة مقفلة إذا مر فيها تيار كهربائي شدته 1 A أنتجت بداخلها في الفراغ تدفقا مغنطيسيا شدته 1 Vs = 1 Wb .
- تبلغ محاثة ملف ما 1 H . إذا تسبب تغير شدة التيار بمعدل 1 A/s في توليد جهد يبلغ 1 V .

تبعا لذلك يعتمد جهد الحث الذاتي على عاملين هما: العامل الأول وهو المحاثة L، ويشمل الأبعاد الخارجية ونوع الملف (ملف ذو قلب فيرومغنطيسي ... إلخ) والعامل الثاني وهو المعدل الزمني الذي يتغير به تيار الملف $\frac{\Delta i}{\Delta t}$.

وبمحاثة قدرها L نحصل على جهد حثّ ذاتي قدره: $U_s = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$

٧-٣-٥ حساب المحاثة

أ) المحاثة لملف ما ثابتة في حالة ثبوت الإنفاذية النسبية μ_r (ملف ذو قلب هوائي). وبالتعويض في المعادلة $L=\frac{N^2}{R_m}$ عن $\frac{1}{R_m}=\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{A}{l}$ (انظر صفحة ١٢٨) ينتج أن: $L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{A}{l}$

ب) في الملفات التي تحتوي على مواد فيرومغنطيسية تعتمد μ_r وبالتالي L على وصلية التدفق Θ، أي على شدة التيار المار في الملف. ولا يمكن حساب المحاثة لهذه الملفات بالمعادلة المذكورة سابقاً. ولكن بالإستعانة بقانون أوم المغنطيسي (صفحة ١٢٨) ينتج أن:

$$\Theta = \Phi \cdot R_m = I \cdot N;\; R_m = \frac{I \cdot N}{\Phi};\; \frac{1}{R_m} = \frac{\Phi}{I \cdot N};\; L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{N^2 \cdot \Phi}{I \cdot N} \qquad L = \frac{\Phi \cdot N}{I}$$

ولا تعتمد هذه المعادلة على شكل القلب الفيرومغنطيسي، وتصلح أيضا للقلوب المحتوية على ثغرة هوائية إذا أمكن إهمال التشتت.

ولمحاثة الملف أهمية كبيرة في الهندسة الكهربائية. وتعطى أهمية خاصة لعدد اللفات N لأن كلًّا من التدفق Φ والجهد المستحث U_s يتناسب مع N طرديا، ولذا تتناسب المحاثة طرديا مع مربع عدد اللفات. وكذلك تتناسب طرديا مع الإنفاذية (وهي تحدد التدفق المغنطيسي).

قد تمر عدة دقائق في الملفات ذات العدد الكبير من اللفات والقلب الفيرومغنطيسي قبل أن يصل تيار الوصل إلى قيمته الكاملة. إذ إن المحاثة تؤثر عند توصيل تيار مستمر كمقاومة (مقاومة حثية، مفاعلة). وتكون لهذه المفاعلة أهمية خاصة في حالة التيار المتردد، الذي يغير اتجاهه وشدته عدة مرات في الثانية. وتؤثر الملفات ذات المحاثة الكبيرة كملفات خانقة فهي لا تسمح إلا بمرور تيار متردد ضئيل تحت الجهود المرتفعة (انظر صفحة ١٨٣).

اللف بسلك مزدوج. يجري لف المقاومات السلكية بسلك مزدوج (شكل ١٤٦-١) إذا كان وجود المحاثة غير مرغوب فيه.



١٤٦ - ١ مقاومة سلكية ملفوفة بسلك مزدوج. يثنى سلك المقاومة عند منتصفه ويثبت من عند منتصفه على إطار تشكيل الملف ثم تلف عليه الأسلاك متوازية. يكون سلكا ذهاب وعودة التيار بجانب بعضهما، فيتعادل مجالاهما المغنطيسيان، أي تكاد محاثة الملف أن تكون معدومة.

مثال ١ : ما مقدار محاثة ملف ذي قلب هوائي قطره الداخلي 10 cm وطوله 20 cm وعدد لفاته 2000 ؟

المعطيات : $d=0,1\ m;\ l=0,2\ m;\ N=2\ 000=2\cdot 10^3$

المطلوب : حساب المحاثة (L) بوحدة (H) .

الحل : $L=N^2\cdot\mu_0\cdot\mu_r\cdot\frac{A}{l}=2\cdot 10^3\cdot 2\cdot 10^3\cdot 1,25\cdot 10^{-6}\ \frac{Vs}{Am}\cdot\frac{0,785\cdot 0,1\ m\cdot 0,1\ m}{0,2\ m}$

$L=0,196\ \frac{Vs}{A}=0,196\ H$

مثال ٢ : ما مقدار جهد الحث الذاتي لملف محاثته $L=0,1\ H$ ، إذا ازداد تيار الملف بانتظام ، بالإستعانة بدائرة إلكترونية ، من 0 إلى 5 A في زمن قدره 0,1 s ؟

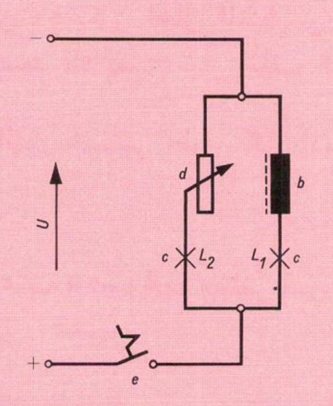
المعطيات : $L=0,1\ H;\ \Delta i=5\ A;\ \Delta t=0,1\ s$

المطلوب : حساب جهد الحث الذاتي (U_s) بوحدة (V) .

الحل : $U_s=L\cdot\frac{\Delta i}{\Delta t}=0,1\frac{Vs}{A}\cdot\frac{5\ A}{0,1\ s}=5\ V$

٧-٣-٦ الملف في دائرة التيار المستمر

مخطط التجربة



التجربة ٥٥ تأثير المحاثة في دائرة تيار مستمر

التجهيزات : a = مصدر جهد من 6 V إلى 8 V تقريبا .
b = ملفان بهما 300 لفة و 1200 لفة ولكل منهما قلب مقفل .
c = مصباحا إضاءة صغيران L_1 و L_2 4,5 V/0,1 A .
d = مقاومة متغيرة
e = مفتاح

خطوات العمل : ١ - إستخدم الملف ذا 300 لفة ، وبالإستعانة بالمقاومة المتغيرة اضبط L_1 و L_2 لتكون لهما نفس شدة الإضاءة .

٢ - صل وافصل المفتاح عدة مرات ولاحظ L_1 و L_2 ثم استخدم الملف $N=1200$ لفة وكرر التجربة .

المشاهدة : في الخطوتين (١) ، (٢) : إذا وصل المفتاح أضاء المصباح L_1 متأخرا عن المصباح L_2 .
في الخطوة (٣) : كلما زادت المحاثة زادت الفترة الزمنية السابقة لإنطفاء L_1 .

النتيجة : كلما زادت المحاثة إزداد تأخر تزايد التيار في الملف إلى القيمة $I=\frac{U}{R}$.

يمكن تمثيل منحنى تغير تيار الملف مع الزمن بواسطة مرسمة التذبذبات (الأوسيلسكوب) أو برسمه بالإستعانة بالثابت الزمني τ. لكل ملف مقاومة سلك أومية R ومحاثة L. وتسمى النسبة $\frac{L}{R}$ في الهندسة الكهربائية بالثابت الزمني τ للملف :

$$\tau = \frac{L}{R}$$

وهو الزمن اللازم للتيار المستمر لكي يرتفع إلى 63% من قيمته العظمى. وعند الفصل يقل التيار خلال مثل هذا الزمن إلى 37%=63%−100 من قيمته العظمى. ويقال رياضيا إن منحنى التيار في عمليتي وصل وفصل الدائرة يتبع ما يسمى بالدالة الأُسية.

ويمكن الحصول على النسبة المئوية من القيمة النهائية للتيار التي يرتفع أو ينخفض إليها عند المضاعفات الصحيحة للثابت الزمني τ من جدول (١٤٨-١)، الذي له صفة التعميم.

١٤٨ - ١ جدول

الزمن بمضاعفات الثابت الزمني		1 τ	2 τ	3 τ	4 τ	5 τ
النسبة المئوية من القيمة	الوصل	63%	86%	94,5%	98%	99,3%
العظمى (100%) في حالة :	الفصل	37%	14%	5,5%	2%	0,7%

وتبين قيم الجدول (١٤٨-١) أنه بعد زمن 5τ يكون المجال المغنطيسي في الملف قد بلغ كامل قيمته بصفة عملية. كذلك ينطبق الحال على التيار المتضائل، فبعد 5τ يصبح تيار الملف عمليا صفرا (شكل ١٤٨-٢).

ملاحظة: يكون الزمن اللازم لارتفاع التيار المستمر أطول كلما زادت المحاثة L المعاوقة للتيار وصغرت المقاومة الأومية R للدائرة الكهربائية.

مثال : وصّل ملف مقاومته R=10 Ω ومحاثته L=2 H بجهد مستمر قدره 100 V وبذا يكون الثابت الزمني :

$\tau=\frac{L}{R}=\frac{2\,\Omega\,s}{10\,\Omega}=0,2\,s$.

أي أن تيار الملف وصل إلى القيمة العظمى بدون تأثير مقاومة بعد زمن قدره 0,2 s وطبقا لقانون أوم فإن :

$I=\frac{U}{R}=\frac{100\,V}{10\,\Omega}=10\,A$.

ونستنتج من جدول (١٤٨-١) أن التيار يصل

بعد $\tau=0,2\,s$ إلى : $0,63\cdot 10\,A=6,3\,A$

وبعد $2\tau=0,4\,s$ إلى : $0,86\cdot 10\,A=8,6\,A$

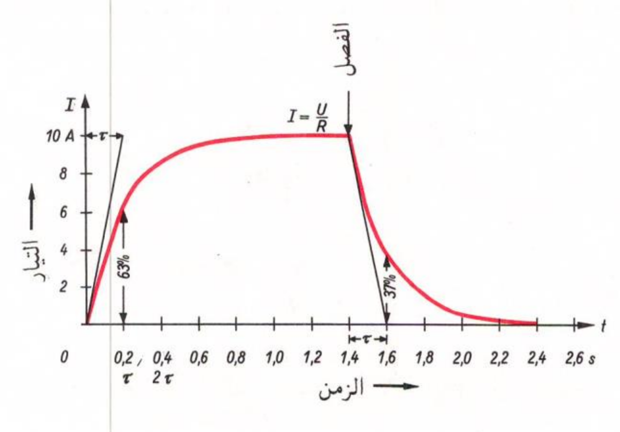
وبعد $3\tau=0,6\,s$ إلى : $0,945\cdot 10\,A=9,45\,A$

وبعد $4\tau=0,8\,s$ إلى : $0,98\cdot 10\,A=9,8\,A$

وبعد $5\tau=1\,s$ إلى : $0,993\cdot 10\,A=9,93\,A$

وعند اضمحلال التيار تصل شدته بعد $\tau=0,2\,s$ إلى : $0,37\cdot 10\,A=3,7\,A$

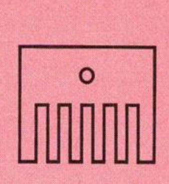
وهكذا (شكل ١٤٨-٢).

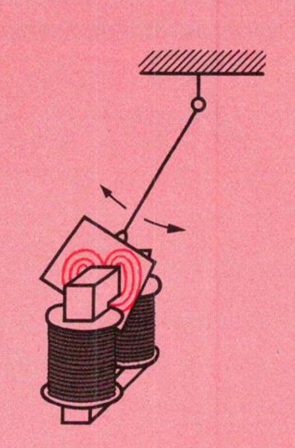


١٤٨ - ٢ منحنى تغير التيار مع الزمن في ملف ذي محاثة.

٧-٣-٧ التيارات الدوامية

مخطط التجربة
قارن بالتجربة (٥١)





التجربة ٥٦ تؤثر القوى الإلكترودينامية على الحركة الميكانيكية .

التجهيزات : مثل التجربة (٥١) بعد الإستعاضة عن الملف المسطح ببندول معلق به قرص من النحاس أو الألومنيوم يكون :
١ - مصمّتا .
٢ - متعدد الفتحات الطولية (مجاري) .

خطوات العمل : ١ - دع البندول المعلق وبه القرص المصمّت يتأرجح بين قطبي المغنطيس الكهربائي بدون مرور تيار .
٢ - صل التيار .
٣ - كرر التجربة باستعمال القرص متعدد الفتحات .

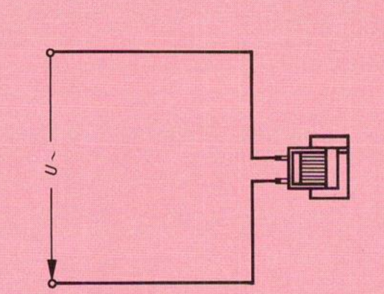
المشاهدة : في الخطوة (١) : يتأرجح البندول حرا في الذهاب والعودة .
في الخطوة (٢) : يكبح البندول في المجال المغنطيسي باهتزازات .
في الخطوة (٣) : يتأثر البندول بالمجال المغنطيسي تأثرا طفيفا .

يفسر قانون لينز هذه التجربة أيضا - دائما ، يكون اتجاه التيار الناتج عن الجهد المتولد بالحثّ بحيث يؤثر مجاله المغنطيسي تأثيرا عكسيا على المجال المسبب للحثّ .
توقف حركة البندول - المسببة لحدوث التيارات الحثية - لحظيا بسبب فقد الطاقة في التيارات الدوامية .
تظهر التيارات الدوامية دائما حيث يحدث تغير في التدفق المغنطيسي في أجزاء معدنية .

النتيجة : يعتبر القرص المعدني المتحرك قطعة موصل متحرك . فإذا تحرك القرص بين قطبي المغنطيس تولدت فيه طبقا لقانون الحث جهود مستحثّة تسبب تيارات دائرة قصر قوية (المقطع الكبير ≙ مقاومة صغيرة) .
ولأنه لا يوجد للتيار مسار محدد في القرص كما هو الحال في لفات الملف ، فإن التيار الكلي يدور عشوائيا في دوامات . ويطلق على هذا اسم التيارات الدوامية . وتكون التيارات الدوامية في القرص المعدني المتعدد الفتحات أقل شدة ، إذ ينحصر مسارها خلال المقطع الصغير (المقطع الصغير ≙ مقاومة كبيرة) .

يستخدم في الهندسة ما يسمى بمكابح التيارات الدوامية في الكثير من أجهزة القياس وأجهزة البيان مثل كبح المحركات الكهربائية وعدادات الكهرباء للتيارات المترددة (شكل ٢٥٢-١) الخ . وإذا أريد تلافي التيارات الدوامية أو جعلها صغيرة فإنه يجب قطع مساراتها باستخدام شرائح رقيقة من المادة (التجربة ٥٦) .

مخطط التجربة



التصليد السطحي . يسخَّن سطح المـادة حتى التوهج بالدرجة المطلوبة . وكلما ازداد تردد تيار الملف أمكن التسخين بسرعة أكبر .

التجربة ٥٧ التأثير الحراري للتيارات الدوامية

التجهيزات : مصدر جهد متردد 220 V .
قلب على شكل U مع ملف عدد لفاته 1200 وحافظة من الفولاذ المصمّت وأخرى من رقائق فولاذية معزولة عن بعضها البعض .

خطوات العمل : ١ - إستخدم الحافظة الفولاذية المصمّتة ، صل التيار لعدة دقائق ثم المس الحافظة والقلب باحتراس .
٢ - إستخدم الحافظة الرقائقية (الصفائحية) ، وكرر التجربة .

المشاهدة : في الخطوة (١) : تسخن الحافظة بشدة في وقت قصير .
في الخطوة (٢) : لا تزداد سخونة الحافظة كثيرا حتى بعد مرور مدة طويلة .

النتيجة : تنشأ تيارات دوامية في القلب الفولاذي لملف موصل على جهد متردد ، ولذا فإن القلب يسخن كثيرا أو قليلاً حسب تركيبه ويستخدم كلا النوعين هندسيا .

يغير التيار المتردد المستخدم في أوروبا عمليا اتجاهه مائة مرة في الثانية ، وبسبب التغيير المستمر للتدفق المغنطيسي يتكون مجال مغنطيسي متردد . وتولّد الجهود المستحثة تيارات مترددة تحدث تسخينا شديدا في القلب المصمّت . ويقل الفقد في الطاقة الناتج عن ذلك باستخدام قلب رقائقي صفائحي (طبقات من صفائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض) .

ولقد أوضحت التجارب أن الحرارة (الفقد) الناتجة عن التيارات الدوامية ترتفع بشدة مع زيادة تردد التيار المتردد . لذلك تستخدم في هندسة الترددات العالية قلوب فريت وقلوب مغنطيسية من مسحوق الحديد ، حيث أن صفائح الحديد مهما بلغت رقتها لا تكون أيضا كافية . والفريتات المغنطيسية هي خليط بلورات أو مركبات من أكسيد الحديد (Fe_2O_3) وأكسيد أو عدد من أكاسيد المعادن الثنائية التكافؤ (مثل NiO و ZnO و MgO . . . إلخ) . ويجري كبس مساحيق المواد الأولية في قوالب ثم تلبد عند 1450°C . وبذلك تصبح القطع شديدة الصلابة وقصيفة ، ولا يمكن تشغيلها إلا بأقراص تجليخ من المـاس أو الكورندم .

وتميز الفريتات عن المواد المغنطيسية المعدنية بإنفاذيتها العالية ومقاومتها الكبيرة التي تبلغ نحو من $10^2\,\Omega\cdot cm$ إلى $10^7\,\Omega\cdot cm$ مقابل من $10^{-5}\,\Omega\cdot cm$ إلى $10^{-4}\,\Omega\cdot cm$ للمعادن . ولذلك يكون بها الفقد نتيجة للتيارات الدوامية في المجال المغنطيسي المتردد عديم الأهمية .

وتستخدم التيارات الدوامية العالية في عمليات صهر المعادن في أفران البواتق الحثية. يوجد حول بوتقة الصهر المملوءة بالمعدن، ملف من النحاس (أنبوبة من النحاس تُبرَّد بالماء) ذو مقطع كبير يسري فيه تيار متردد. وتكفي التيارات الدوامية الناشئة في المعدن المراد صهره للوصول بشحنة الصهر إلى الحالة السائلة (للتصليد السطحي انظر الشكل في التجربة ٥٥).

٧-٣-٩ معامل الفقد المغنطيسي

معامل الفقد لصفائح الدينامو هو فقد القدرة النوعي (بالكتلة) الناشئ في صفائح المولدات (صفائح الدينامو) بسبب التخلف المغنطيسي (انظر صفحة ١٣٠) وبسبب التيارات الدوامية عند كثافة عظمى معينة للتدفق المغنطيسي B وعند تردد شبكة 50 Hz مثلا. وتعطى هذه القيمة لكثافات تدفق مختلفة في جداول ويرمز لها بالرموز L_{10} (B = 1 T) و L_{15} (B = 1,5 T) و L_{20} (B = 2 T).

١٥١ - ١ معاملات الفقد لصاج المولدات (الدينامو) والمحولات طبقا للمواصفات DIN 46400.

رمز الصنف	نسبة السليكون %	معامل الفقد (W/kg) L_{10}	L_{15}	L_{20}
صفائح دينامو I	0,7	3,6	8,6	–
صفائح دينامو II	1,0	3,0	7,2	–
صفائح دينامو III	1,7...2,7	2,6...2	6,3...4,9	–
صفائح دينامو IV	3,4...4,3	1,7...1	4 ...2,5	–
صفائح محولات M 7	3,2	0,47	1,1	2,7

مثال: يبلغ وزن صفائح الدينامو II في قلب محول m = 40 kg، وعند كثافة تدفق مغنطيسي B = 1,5 T ينشأ فقد قدرة يبلغ
$P_l = L_{15} \cdot m = 7,2\ W/kg \cdot 40\ kg = 288\ W$.

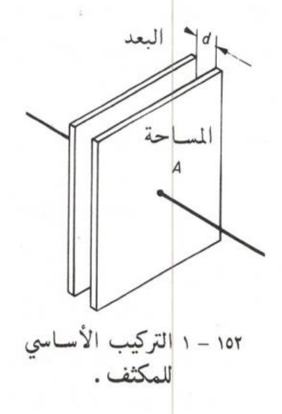
تمرينات

١ - وضِّح كيف ينشأ جهد الحث الذاتي، وعلى ماذا يتوقف مقداره؟
٢ - إشرح الاجراءات التي يمكن بها تخفيف أو منع خطورة جهد الحث الذاتي الناشئ عند فصل الدائرة.
٣ - وضح لماذا لا يضيء مصباح إضاءة موصل على التوالي مع ملف به عدد كبير من اللفات فور توصيل الدائرة!
٤ - إحسب جهد الحث الذاتي لملف تبلغ محاثته 0,15 H إذا تغير التيار من 1 إلى 5 A في زمن قدره $1/_{100}$ s!
٥ - لماذا ينخفض فقد التيارات الدوامية في صفائح المحولات المحتوية على السليكون؟

٨ المكثف الكهربائي في دائرة التيار المستمر

٨–١ التركيب والمبادئ الأساسية

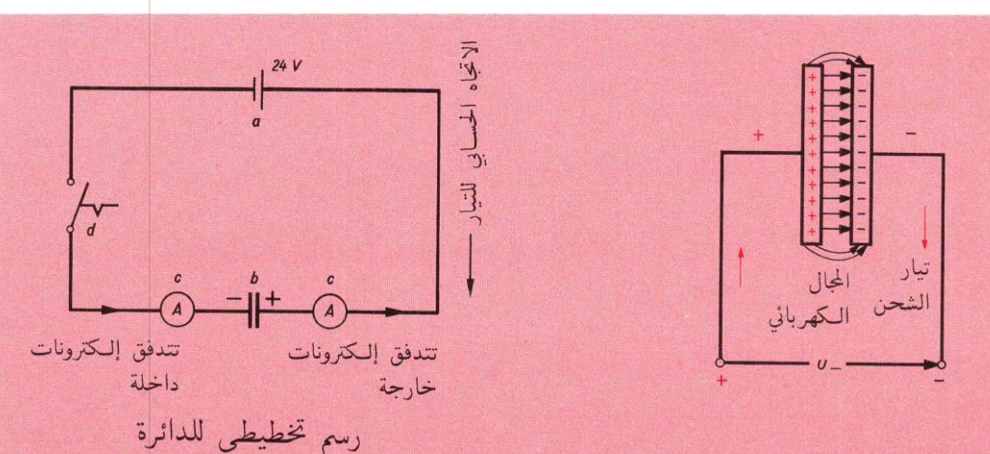
٨–١–١ التركيب الأساسي



١٥٢ – ١ التركيب الأساسي للمكثف .

يتكون المكثف الكهربائي من لوحين موصلين أو رقيقتين معدنيتين معزولتين عن بعضهما البعض ويكون البعد بينهما صغيرا بقدر الإمكان (شكل ١٥٢–١) . وفي بداية عهد المكثفات كان المكثف يتكون من قارورة زجاجية (طبقة عازلة) مغطى كل من سطحها الداخلي والخارجي بطبقة رقيقة من القصدير كلوحين موصلين . ولذلك تسمى الألواح الموصلة أحيانا بالطبقات المغلفة . كما تُسمّى الطبقة العازلة أحيانا بالعازل الكهربائي .

٨–١–٢ المكثف المثالي كمقاومة لا نهائية للتيار المستمر (يمنع مرور التيار المستمر)



المجال الكهربائي وتيار الشحن
(الاتجاه الهندسي للتيار)

التجربة ٥٨ تيار شحن المكثف

التجهيزات : a = منبع جهد مستمر 24 V
b = مكثف من 10 µF إلى 12 µF
c = أمبيرمتران ، مدى القياس 2 mA

خطوات العمل : صل المفتاح وراقب الأمبيرمترين

المشاهدة : ينحرف مؤشرا الأمبيرمترين لوقت قصير .

النتيجة : يشحن المكثف بواسطة دفعة تيار .

شحن المكثف : قبل توصيل الجهد الكهربائي إلى المكثف يكون كل من اللوحين محتويا على كمية متساوية من الإلكترونات . وعند توصيل جهد مستمر تتصل إحدى طبقتي المكثف بالقطب الموجب والأخرى بالقطب السالب . ولما كان وجود الجهد يعني توزيعا إلكترونيا غير متكافئ ، فإنه يجب عند لحظة التوصيل أن تتدفق إلكترونات إلى الطبقة السالبة كما يجب أن يسحب من الطبقة الموجبة عدد مساو من الإلكترونات . وبسبب الطبقة البينية العازلة فإنه لا توجد دائرة مقفلة للتيار ، أي أنه لا يمكن للإلكترونات أن تتدفق خلال المكثف . لذلك لا تكون الإلكترونات المتدفقة للداخل من أحد الجانبين هي الإلكترونات ذاتها المتدفقة للخارج من الجانب الآخر . ويسمى التيار الذي ينشأ نتيجة لإزاحة الإلكترونات فقط بتيار الشحن أو بتيار الإزاحة . ويسري تيار الشحن لوقت قصير فقط ، أي طالما استمرت إزاحة الإلكترونات . فإذا ما انتهى الشحن ، فإن جهد أطراف المكثف يكون مساويا لجهد المنبع . ويظل هذا الجهد موجودا أثناء الفترة التالية حتى ولو فصل جهد المنبع . وينشأ بين اللوحين ما يعرف بالمجال الكهربائي . وتساوي الشحنة الكهربائية Q تيار الشحن I مضروبا في زمن الشحن t .

$$Q = I \cdot t$$

ملاحظة : تولد الجهود الكهربائية مجالات كهربائية . ويسمى المجال الكهربائي الناتج عن جهد مستمر مجالا إلكتروستاتيا .

وحدة SI المشتقة لكمية الكهرباء أو الشحنة الكهربائية هي الكولوم ورمزها C .

ويساوي الكولوم كمية الكهرباء التي تسري في زمن قدره ثانية واحدة إذا مر تيار كهربائي بشدة ثابتة قدرها أمبير واحد في مقطع موصل للتيار .

٨-١-٣ شدة المجال الكهربائي

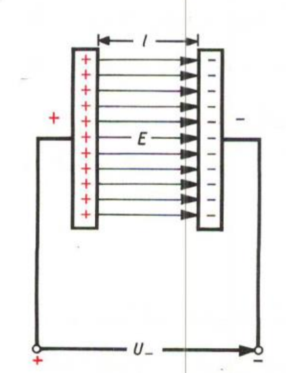
تحسب شدة المجال الكهربائي في التطبيق العملي طبقا للصيغة التالية :

شدة المجال الكهربائي = الجهد / طول خطوط المجال

$$E = \frac{U}{l}$$

وحدة SI المشتقة لشدة المجال الكهربائي هي الفولط لكل متر ورمزها $\frac{V}{m}$ (شكل ١٥٣-١) .

ملاحظة : يساوي الفولط لكل متر شدة المجال الكهربائي لمجال كهربائي متجانس يبلغ فيه فرق الجهد بين نقطتين على مسافة 1 m في اتجاه المجال 1 V.



١٥٣ - ١ شدة المجال الكهربائي
$E = \frac{U}{l}$

مثال : احسب شدة المجال الموجودة في مكثف يستخدم في التجارب ، إذا كان البعد بين اللوحين 10 cm والجهد بينهما 500 V.

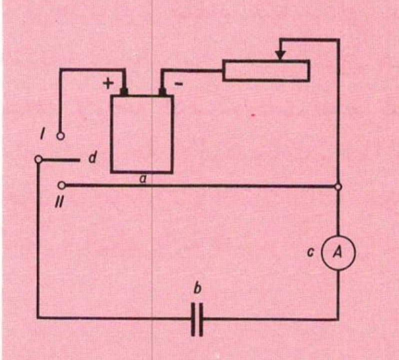
المعطيات : $U = 500\ V;\ l = 10\ cm$

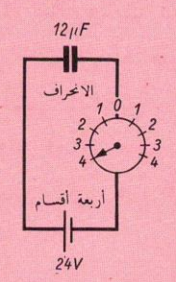
المطلوب : حساب شدة المجال E بوحدة (V/m) .

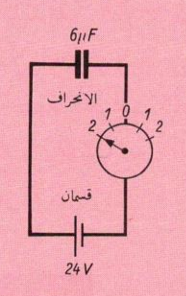
الحل : $E = \frac{U}{l} = \frac{500\ V}{0{,}1\ m} = 5000\ \frac{V}{m}$

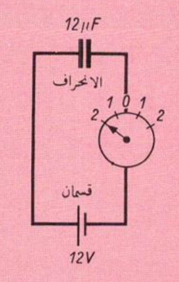
٨-١-٤ العوامل المختلفة التي تتوقف عليها شدة تيار الشحن أو تيار التفريغ لأي مكثف

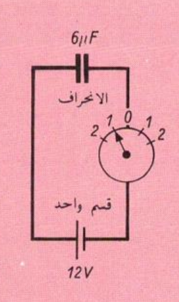
الرسم التخطيطي للدائرة











التجربة ٥٩ يتوقف تيار الشحن وتيار التفريغ على السعة والجهد

التجهيزات : a = مصدر جهد مستمر 24 V ، متغير المقدار

b = مكثفان سعتاهما 6 µF و 12 µF

c = أمبيرمتر للتيار المستمر ، مدى القياس 2 mA ، صفر التدريج في الوسط ، وضع المؤشر يوضح لحظة التوصيل .

d = مفتاح تحويل (تبديل)

خطوات العمل : ١ – جهد الشحن 12 V ، المكثف 6 µF.

٢ – صل المفتاح بالوضع I وراقب الأمبيرمتر .

٣ – صل المفتاح بالوضع II وراقب الأمبيرمتر .

٤ – زد الجهد إلى 24 V ثم أكمل مثل الخطوتين (٢) و (٣) .

٥ – استخدم المكثف 12 µF ثم أكمل مثل الخطوة (٤) .

المشاهدة : في الخطوة (٢) : يبين مؤشر الأمبيرمتر تيار شحن لمدة قصيرة .

في الخطوة (٣) : ينحرف المؤشر بنفس المقدار ولكن في الاتجاه المعاكس .

في الخطوة (٤) : يتضاعف إنحراف المؤشر .

في الخطوة (٥) : يتضاعف إنحراف المؤشر مرة أخرى .

النتيجة : يزداد تيار الشحن ، أي كمية الإلكترونات التي استوعبها المكثف ، كلما زادت سعة المكثف وزاد الجهد المتصل به .

٨-١-٥ السعة الكهربائية للمكثف

أوضحت التجربة (٥٨) أنه :

- عندما يكون جهد الشحن ثابتا يستوعب المكثف الكبير كمية من الكهرباء أكبر من المكثف الصغير .
- يستوعب المكثف كمية أكبر من الكهرباء ، كلما ارتفع جهد الشحن الموصل .

ويستخلص من ذلك أنه إذا أريد تقدير سعة مكثف ما ، يجب استخدام كمية الكهرباء Q المزاحة بواسطة جهد شحن (U = 1 V) كمقياس :

$$C = \frac{Q}{U}$$

وحدة SI المشتقة للسعة الكهربائية هي الفاراد Farad (F): ويساوي الفاراد الواحد السعة الكهربائية لمكثف يشحن بكمية كهرباء 1 C إلى جهد كهربائي 1 V .

يكون لمكثف ما سعة قدرها C=1 F إذا سرى تيار شحن قدره 1 A لمدة ثانية واحدة عند توصيله بجهد شحن قدره 1V .

ويمثل الفاراد وحدة كبيرة جدا ، لذلك تستخدم في التطبيق العملي الوحدات المشتقة الصغرى :
ميكروفاراد $\mu F = F\ ^{-6}10$ ، نانوفاراد $nF = F\ ^{-9}10$ ، بيكوفاراد $pF = F\ ^{-12}10$.

مثال ١ : حوِّل $25\ \mu F$ إلى فاراد

الحل : $25\ \mu F = 25 \cdot 10^{-6}\ F$

مثال ٢ : ما هي الشحنة التي يختزنها مكثف سعته $C = 10\ \mu F$ ، إذا ما وُصِّل بجهد قدره 300 V ؟

المعطيات : $C = 10\ \mu F;\ \ U = 300\ V$

المطلوب : حساب الشحنة Q بوحدة (C).

الحل : $Q = C \cdot U = 10 \cdot 10^{-6}\ \frac{As}{V} \cdot 300\ V = 3000 \cdot 10^{-6}\ As = 3 \cdot 10^{-3}\ C$

٨-١-٦ تحديد سعة المكثف طبقا لتركيبه الداخلي

تعتمد السعة على مساحة الألواح أو الطبقات الموصلة وعلى البعد بين الألواح وعلى نوع المادة العازلة الموجودة بينها . والمواد العازلة الصلبة أو السائلة (العوازل الكهربائية) تزيد مقدار السعة .

٨-١-٧ العازل الكهربائي

٨-١-٧-١ الهواء كعازل كهربائي

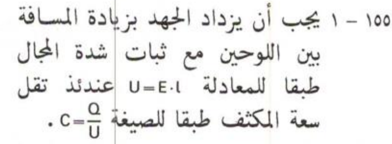
تنطبق على المكثف المشحون العلاقة : $E = \frac{U}{l}$.

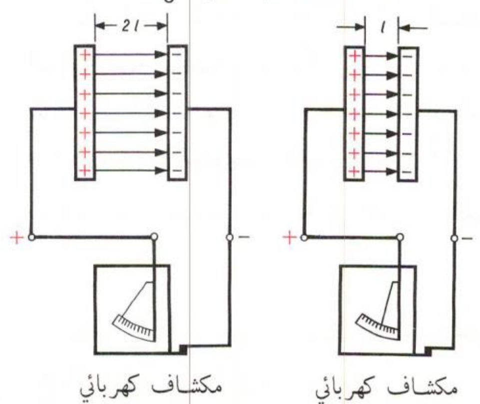
وإذا تغيرت المسافة بين اللوحين ، تصبح خطوط المجال أطول أو أقصر . وتبين المعادلة المحوَّلة $U = E \cdot l$ أن الجهد الموجود بين اللوحين يكون أكبر كلما زادت المسافة بين اللوحين والعكس صحيح . (شكل ١٥٥-١) .

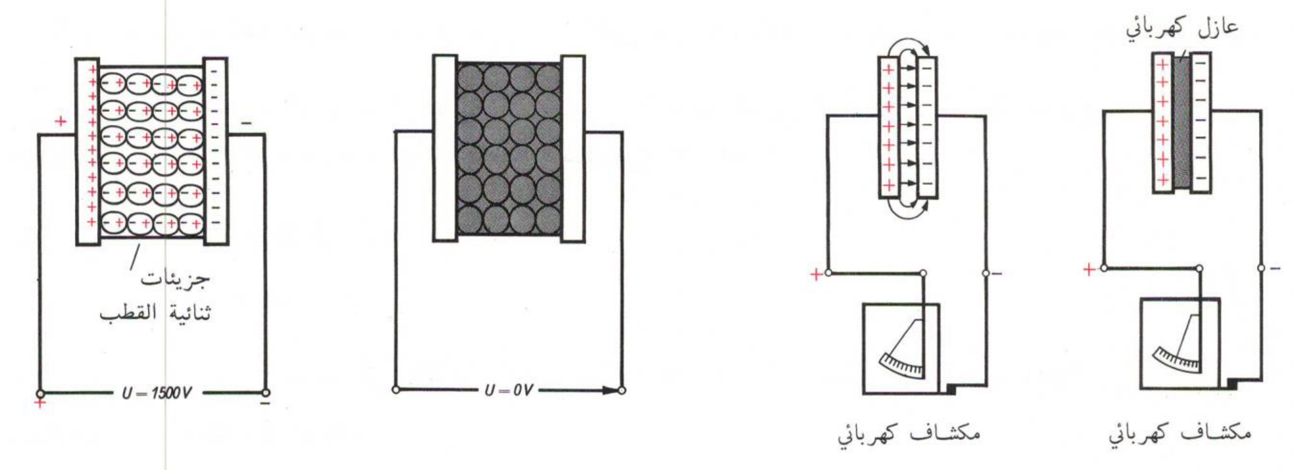
إلا أنه طبقا للصيغة $C = \frac{Q}{U}$ فإن السعة تنقص في هذه الحالة . وبالعكس تزداد السعة إذا صغرت المسافة بين اللوحين .

٨-١-٧-٢ المادة العازلة كعازل كهربائي

إذا وضعت مادة عازلة مثل الزجاج بين لوحي مكثف مشحون ، فإننا نحصل على انحراف أصغر في جهاز القياس ، أي أن الجهد يصبح أقل ، (شكل ١٥٦-١) . وإذا أبعدت المادة العازلة فإن الجهد يرتفع ثانية إلى القيمة السابقة . وبالتأمُّل نصل إلى حقيقة أن المادة العازلة قد زادت من قيمة السعة ، فعندما تكون الشحنة ثابتة والجهد أصغر يجب أن تصبح C أكبر طبقا للصيغة : $C = Q/U$.


١٥٥ - ١ يجب أن يزداد الجهد بزيادة المسافة بين اللوحين مع ثبات شدة المجال طبقا للمعادلة $U = E \cdot l$ عندئذ تقل سعة المكثف طبقا للصيغة $C = \frac{Q}{U}$.





١٥٦ - ١ الحيز البيني مملوء بعازل كهربائي، ينخفض الجهد طالما كانت المادة العازلة موجودة بين اللوحين. إذا ما أبعدت المادة العازلة، يرتفع الجهد ثانية إلى القيمة الأصلية. طبقا للعلاقة $C=\frac{Q}{U}$ يجب أن تكبر السعة إذا صغرت U وظلت Q ثابتة.

١٥٦ - ٢ العمليات الحادثة في العازل الكهربائي: استقطاب العازل.

طبيعة العازل الكهربائي (شكل ١٥٦-٢). في الظروف العادية تكون الجزيئات الموجودة في المادة العازلة بالنسبة للخارج متعادلة كهربائيا. فإذا ما تأثرت بقوى مجال كهربائي فإن الإلكترونات تتزحزح قليلا إلى أحد الجوانب، وتتزحزح الشحنات الموجبة إلى الجانب الآخر، ويصبح كل جُزَيء من جزيئات المادة العازلة ثنائي أقطاب صغير الحجم. وهكذا تصبح المادة العازلة مستقطبة بفعل المجال الكهربائي، وتؤثر الآن الشحنات الموجبة والسالبة عند سطح المادة العازلة. وعند الشحن يسري في المادة العازلة لمدة قصيرة ما يسمى بتيار الإزاحة. وتتم هذه الإزاحة بالعازل ضد مقاومة القوى الداخلية للجزيئات (وهو ما يمكن مقارنته بشد خيط من المطاط).

ويتعادل جزء من الشحنة الموجودة على الألواح بالحث الإلكتروستاتي، طالما ظل المكثف مشحونا وبذلك يختفي جزء من خطوط المجال من الحيز بين اللوحين، وتصبح شدة المجال في المادة العازلة أصغر. وطبقا للعلاقة: $U=E \cdot l$ يجب أن يقل الجهد. وعند توصيل جهد بالمكثف يسري مقدار شحنة كهربائية إلى أن يصل الجهد U إلى قيمته الأصلية ثانية. وتكون شحنة المكثف وسعته أكبر منها في حالة عدم وجود عازل كهربائي. وعند التفريغ يعود العازل الكهربائي إلى الوضع غير المشحون ثانية.

وتساوي كثافة الإزاحة D كمية الشحنة Q مقسومة على مساحة اللوح (الطبقة) A، وهي تحاول إزاحة الشحنات الكهربائية بالحث الإلكتروستاتي. وبإجراء تجارب الحث الإلكتروستاتي على مواد مختلفة غير موصلة (الهواء، الزيت. .الخ) ثبت أن الشحنة Q تتناسب طرديا مع مساحة الألواح A وشدة المجال E وثابت المادة ε، أي أن: $Q=A \cdot E \cdot \varepsilon$. وبالتعويض ($D=\frac{Q}{A}$) ينتج أن: $D=\varepsilon \cdot E$ (وتناظر في المغنطيسية $B=\mu \cdot H$). ولأنه لا يوجد هنا أيضا مادة لها $\varepsilon=0$، فقد اختيرت القيمة في الفراغ كقيمة قياسية وتبلغ قيمة ثابت المجال الكهربائي: $\varepsilon_0=8{,}85 \cdot 10^{-12}$ As/Vm.

وتنسب كل العوازل الكهربائية الأخرى إلى ثابت المجال الكهربائي معطاة بقيمة معامل العازل النسبي ε_r. وبالتماثل مع المغنطيسية يكون: $\varepsilon=\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$.

المادة	ε_r (عدد مطلق)
هواء	1
ورق	1,8...2,5
برافين	2 ...2,7
زيت عازل	2,2...2,7
بوليسترول	2,3...3,5
ورق مضغوط	2,5...4,5
ورق مقوى	4 ...7
ميكانيت	4,5...6
صيني ، زجاج	5 ...7
ميكا	5 ...8
كوندنسا	40 ...60
خزف	5 ...3000

ملاحظة : تعتمد ε_r على درجة الحرارة وتصلح القيم المعطاة عند درجة حرارة حوالي 20° C.

تبين القيمة العددية عدد المرات التي تتضاعف بها سعة مكثف إذا ما استخدمت مادة عازلة أخرى بدلا من الهواء .

سعة المكثف اللوحي : بينت التجارب أن سعة مكثف ما تزداد بزيادة مساحة الطبقة الموصلة (الألواح) A وبتصغير المسافة بين اللوحين d وبزيادة قيمة ε_r (جدول ١٥٧-١) .

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{d}$$

ملاحظة : $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$ ، حيث A بالمتر المربع و d بالمتر و C بالفاراد .

مثال : لمكثف لوحي مساحة فعالة (للوح واحد) مقدارها 10 cm². ما مقدار سعته بالبيكوفاراد ، إذا ما استخدم :
أ) الهواء ، ب) ورق مقوى له $\varepsilon_r=5$ ، كمادة عازلة وكانت المسافة بين اللوحين هي d=0,1 mm

المعطيات : $A = 10\ cm^2;\ \varepsilon_r = 5;\ d = 0{,}1\ mm$

المطلوب : حساب سعة المكثف (C) بوحدة (pF).

الحل : أ) $C = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{d} = \frac{1 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ As \cdot 10^{-3}\ m^2}{10^{-4}\ mVm} = 8{,}85 \cdot 10^{-11}\ F = 88{,}5\ pF$

ب) $C = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{d} = \frac{5 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ As \cdot 10^{-3}\ m^2}{10^{-4}\ mVm} = 44{,}25 \cdot 10^{-11}\ F = 442{,}5\ pF$

٨-١-٨ المكثف والثابت زمني

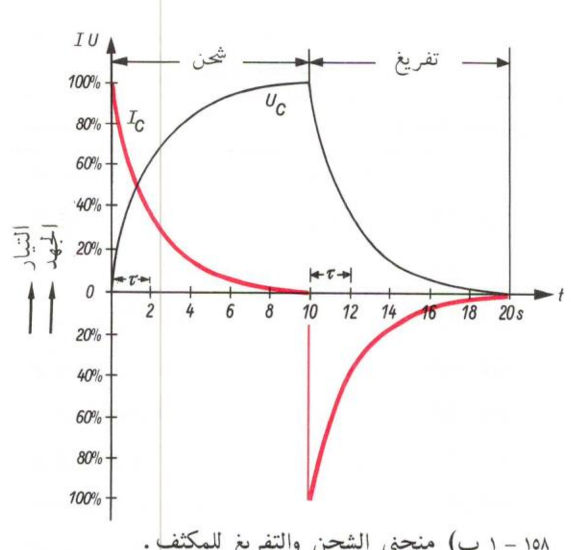
٨-١-٨-١ الشحن

إذا وصل المكثف بجهد مستمر U ، فإن تيار الشحن I يتخذ في لحظة التوصيل قيمته العظمى التي تحدد بمقاومة الشحن R (شكل ١٥٨-١) . ويقل I باستمرار ويصبح صفرا بانتهاء عملية الشحن ، لأن المكثف يمنع مرور التيار المستمر (راجع التجربة ٥٨) . ويمكن عمليا اعتبار مقاومة المكثف المشحون للتيار المستمر كبيرة كبرا لا نهائيا . وإذا روقبت الجهود الجزئية ، فإننا نتبين أن الجهد الجزئي U_R بين طرفي المقاومة في لحظة التوصيل يكون كبيرا ، والجهد الجزئي بين طرفي المكثف يكون صفرا وهكذا يؤثر المكثف في لحظة التوصيل كأنه توصيلة قصر . ومع إزدياد الشحن يرتفع U_C إلى قيمة جهد المنبع ، ويصبح U_R صفرا .

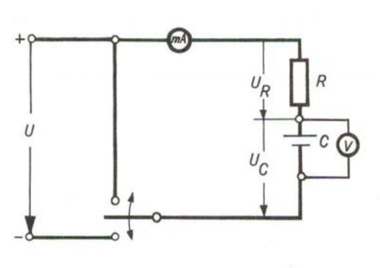
ويمكن قياس أو حساب الفترة الزمنية اللازمة للشحن التام . والعبرة هنا بقيمة المقاومة R لدائرة الشحن وسعة المكثف C.

$$\tau = R \cdot C$$

ويسمى حاصل ضرب R في C بالثابت الزمني τ .
وينتهي الشحن التام عمليا بعد خمسة أمثال الثابت الزمني .



١٥٨ - ١ ب) منحنى الشحن والتفريغ للمكثف .



١٥٨ - ١ أ) دائرة قياس الثابت الزمني

مثال : ما مقدار الثابت الزمني لدائرة مكثف ، إذا كان : $R = 1\ M\Omega$ ، $C = 0{,}22\ \mu F$؟

المعطيات : $R = 1\ M\Omega;\ C = 0{,}22\ \mu F$

المطلوب : حساب الثابت الزمني (τ) بوحدة (s).

الحل : $\tau = R \cdot C = 1 \cdot 10^6\ \Omega \cdot 0{,}22 \cdot 10^{-6} \frac{As}{V} = 0{,}22\ s$

٨-١-٨-٢ التفريغ

يسري - أثناء زمن تفريغ المكثف - تيار يتبع منحنى مماثل في الشكل لمنحنى تيار الشحن ، ولكنه مضاد له في الاتجاه ، ويصل التيار في لحظة بداية التفريغ إلى قيمته السالبة العظمى ثم يعود ببطء إلى الصفر . ويسلك منحنى الجهد للمكثف - إذا لم تتغير R و C - نفس المسلك تماما كما في عملية الشحن ، ولكن بهبوط إلى القيمة النهائية وهي صفر ڤولط .

ولرسم منحنى الشحن والتفريغ عند ثبات جهد المنبع تؤخذ القيم التالية (انظر أيضا الثابت الزمني للملف صفحة ١٤٨) :

الشحن

الزمن (τ)=R·C	1 τ	2 τ	3 τ	4 τ	5 τ
U_C (%)	63	86	94,5	98	99,3
I (%)	37	14	5,5	2	0,7

التفريغ

الزمن (τ)=R·C	1 τ	2 τ	3 τ	4 τ	5 τ
U_C (%)	37	14	5,5	2	0,7
I (%)	−37	−14	−5,5	−2	−0,7

تمرينات

١ - اشرح كيفية سلوك مكثف في دائرة تيار مستمر .

٢ - على أي العوامل تعتمد كمية الإلكترونات التي يستوعبها مكثف عند شحنه؟

٣ - كم فاراداً تعادل : أ) 75 pF ، ب) 125 nF ، ج) 225 μF؟

٤ – ما مقدار الجهد اللازم توصيله إلى مكثف سعته $C=250\ \mu F$ ، لكي يختزن شحنة قدرها $0,25\ As$؟

٥ – مكثف ورقي سعته $C=10\ \mu F$ ، وبه طبقة عازلة لها $\varepsilon_r=5$. ما هو البعد بين الطبقتين (اللوحين) ؟

٨–٢ توصيل المكثفات

٨–٢–١ ازدياد السعة بتوصيل المكثفات على التوازي

يكون كل مكثف موصلا إلى جهد المنبع U عند التوصيل على التوازي فإذا ما تساوت المسافة بين الألواح فإن مساحات أسطح الألواح تضاف إلى بعضها البعض . وتكون السعة الكلية مساوية لمجموع السعات المنفردة .

$$C=C_1+C_2+\cdots C_n$$

مثال : ما مقدار السعة الكلية ، إذا وصلت على التوازي ثلاثة مكثفات $C_3=8\ \mu F$; $C_2=5\ \mu F$; $C_1=3\ \mu F$.

المعطيات : $C_1=2\ \mu F;\ C_2=5\ \mu F;\ C_3=8\ \mu F$

المطلوب : حساب سعة المكثف (C) بوحدة (μF) .

الحل : $C=C_1+C_2+C_3=15\ \mu F$

٨–٢–٢ نقصان السعة بتوصيل المكثفات على التوالي

يحصل كل مكثف على جزء من جهد المنبع عند التوصيل على التوالي . فإذا ما بقيت مساحات أسطح الألواح ثابتة فإن نسبة المسافة بين الألواح إلى الهبوط في الجهد تصبح أكبر . وتكون السعة الكلية لمكثفات موصلة على التوالي أصغر من سعة أصغر مكثف .

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\cdots\frac{1}{C_n}$$

ملاحظة : عند توصيل مكثفات على التوالي لا يتحدد توزيع الجهد للتيار المستمر تبعا للسعة ، وإنما تبعا لمقاومات عزل المكثفات .

مثال ١ : ما قيمة السعة الكلية ، إذا وصلت ثلاثة مكثفات $C_1=2\ \mu F$; $C_2=5\ \mu F$; $C_3=8\ \mu F$ على التوالي

المعطيات : $C_1=2\ \mu F;\ C_2=5\ \mu F;\ C_3=8\ \mu F$

المطلوب : حساب سعة المكثف (C) بوحدة (μF) .

الحل : $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3};\ \frac{1}{C}=\frac{1}{2\ \mu F}+\frac{1}{5\ \mu F}+\frac{1}{8\ \mu F}=\frac{33}{40\ \mu F};\ C=1,2\ \mu F$

مثال ٢ : في دائرة ما يلزم استخدام سعة قدرها $C=2\ \mu F$ لتوصيلها بجهد $1\ kV$. كيف يمكن تحقيق ذلك ، إذا كانت المكثفات الموجودة تصلح لجهد مستمر قدره $550\ V$ فقط ؟

الحل : يجب توصيل مكثفين على التوالي لأن الجهد الإسمي منخفض . لذا يختار مكثفان سعة كل منهما $C=4\ \mu F$. ولأننا لسنا متأكدين أن لكلي المكثفين نفس مقاومة العزل (وهي تقع في مدى عدة ميجا أوم) ، فإننا نوصل مقاومة كبيرة تبلغ نحو $100\ k\Omega$ على التوازي مع كل مكثف . وبذلك يمكن تفادي وجود هبوط جهد كبير على أحد المكثفين ، إذا كانت مقاومتا العزل غير متساويتين .

تمرينات

١ - لماذا توصل المكثفات بصفة عامة على التوالي؟

٢ - في أي حالة ينقسم الجهد المستمر الموصل بمكثفين متصلين على التوالي مناصفة عند التشغيل الدائم؟

٨-٣ المكثفات المتغيرة والثابتة السعة

٨-٣-١ المكثفات الثابتة السعة

أ) **المكثفات الورقية ذات الرقائق المعدنية.** تصنع المكثفات المغلقة لهندسة الجهد العالي (مكثفات القدرة) من رقيقتين معدنيتين طويلتين بينهما ورقة مشبعة بالبارافين كطبقة عازلة. وتلف الرقيقتان إلى وحدة مكثف أسطواني أو مسطح، ثم يوصل عدد من هذه الوحدات معا في وعاء من الصفيح. وقبل أن يحكم سد وعاء الصفيح يجب تفريغه من الهواء والرطوبة وإلا نشأ خطر انهيار العزل.

يكون تركيب المكثفات المغلقة لهندسة الاتصالات مشابه للنوع السابق. ويملأ الفراغ الناشئ من اللفات داخل الوعاء بالبارافين. ويتم سد النهاية الخارجية بصب مادة راتنجية.

تتكون المكثفات المانعة أو الملفوفة من لفات من الرقائق المعدنية أيضا. وتوضع في أغلفة من الورق المقوى أو الزجاج أو الخزف أو الألومنيوم وتكون غالبا ذات مقطع دائري.

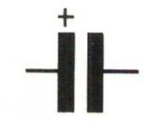
ب) **المكثفات الورقية المعدنية** (MP=Metal Paper Condensers) وهي تحتوي على طبقات معدنية رقيقة (زنك) تُرسَّب على الورق بالتبخير تحت التفريغ وعند انهيار العزل في المكثف تتبخر الطبقة المعدنية الرقيقة بجوار موضع الإنهيار بسبب القوس الكهربائي الناشئ. وبذلك تتكون منطقة خالية من المعدن تعزل منطقة الإنهيار وتمنع حدوث دائرة قصر. ويتم هذا العلاج الذاتي في نحو جزء من مائة ألف من الثانية، ويحتاج فقط إلى جزء من الطاقة المختزنة في المكثف ولذا لا ينتج عن ذلك أي إضطراب في الدائرة الخارجية. ويكون الجزء الضائع من المساحة المعدنية نتيجة الإنهيار صغيرا، لدرجة ألا يكون للنقص في السعة الناشئ عن عدة انهيارات أي تأثير يذكر من الوجهة العملية.

ج) **المكثفات ذات الرقائق المعدنية المطلية** (ML=Metal Lacquer Condensers) لهندسة الإلكترونيات والإتصالات. التركيب: تغطى رقيقة الألومنيوم المستخدمة كلوح معدني بطبقة من الطلاء من كلا الوجهين كعازل كهربائي، وترسب طبقة رقيقة من الزنك بالتبخير تحت التفريغ على طبقتي الطلاء كلوح مقابل. وتحتوي الرقيقة المعدنية المطلية الجاهزة على كل العناصر اللازمة للمكثف وبقدر مضاعف (شكل ١٦١-٣).

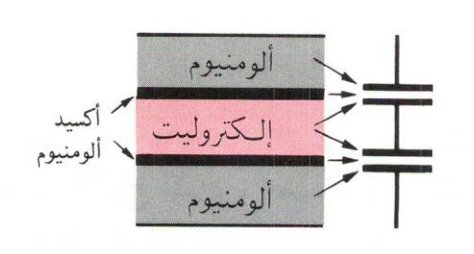
الخواص: توجد فيها خاصية العلاج الذاتي تماما مثل المكثفات الورقية المعدنية. ويكون العازل الكهربائي - بعكس الورق - غير مسامي ولا يمتص الرطوبة من الهواء لذلك لا يلزم ملء لفات المكثف بمركب إشراب. ويشغل المكثف ذو الرقائق المعدنية المطلية حوالي ثلث حجم المكثف الورقي المعدني فقط، لأن سمك طبقة الطلاء يبلغ 0,003 mm فقط.

د) **المكثفات ذات الرقائق اللدائنية** هي أيضا مكثفات ملفوفة. وفيها يكون العازل الكهربائي غالبا من البوليسترول أو الستيروفلكس. ويمتاز على المكثف الورقي بأن عامل فقده أصغر (انظر صفحة ٢٠٠)، وتظل قيمة السعة ثابتة تقريبا مع تغير درجة الحرارة.

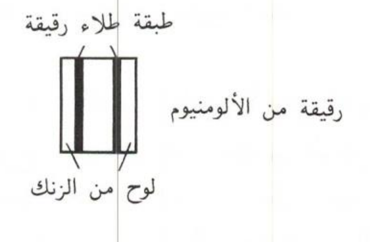
هـ) **المكثفات الخزفية** وهي تصنع على شكل أقراص أو أنابيب أو أوان. تتكون الألواح من طبقة من الفضة ملصقة بالتسخين باللهب على عازل من الخزف. وهي تصنع بمعاملات حرارية مختلفة حتى تزداد قابلية ملاءمتها للدوائر المختلفة. ومعامل الفقد فيها صغير جدا.



١٦١ - ١ رمز الدوائر لمكثف إلـكتروليتي مستقطب.



١٦١ - ٢ تركيب مكثف إلـكتروليتي غير مستقطب.



١٦١ - ٣ تركيب مكثف ذي صفائح معدنية مطلية.

و) **المكثفات الإلـكتروليتية** وهي تتكون من رقيقين مُخشَّنتين (أي تصير المساحة أكبر) من الألومنيوم كألواح موصِّلة وورق سليولوز الصودا المشرَّب بالإلـكتروليت. ويمكن أيضا استخدام وعاء الألومنيوم كرقيقة ثانية. ويتكون العازل الكهربائي من طبقة رقيقة جدا من أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3)، ($\varepsilon_r = 7,5$). وتسمح طريقة التركيب هذه بالحصول على مقدار كبير من السعة في حيز صغير. ويسمح باستخدام المكثفات الإلـكتروليتية المستقطبة (شكل ١٦١-١) فقط في دوائر تكون فيها قيمة الجهد المستمر أعلى من القيمة العظمى للجهد المتردد الذي قد يتراكب معه.

المكثفات الإلـكتروليتية اللامستقطبة وهي تحتوي دائما على رقيقتين مُزوَّدتين بطبقة من الأكسيد. ويكون التركيب (شكل ١٦١-٢) على التوالي: طبقة من الألومنيوم - طبقة من الأكسيد - إلـكتروليت - طبقة من الأكسيد - طبقة من الألومنيوم. وللمكثف ثلاث طبقات موصلة هي طبقتا الألومنيوم والإلـكتروليت. أي أن الإلـكتروليت يكّون بذلك مع كل طبقة من الطبقتين المعدنيتين مكثفا. وهذان المكثفان موصلان على التوالي، وعلى ذلك فإن السعة لنفس الحجم أصغر من المكثفات المستقطبة.

وتكون مقاومة العزل للمكثفات الإلـكتروليتية صغيرة نسبيا إذا قورنت بأنواع المكثفات الأخرى. لذلك يمكن لجهد مستمر متصل بالمكثف أن يُمرِّر به ما يسمى بالتيار المتخلف أو بتيار التسرب. ويجب تبعا للمواصفات القياسية ألا يزيد مقدار هذا التيار عن 0,5 µA لكل ڤولط ولكل µF. والعيوب الأخرى هي: عامل فقد أعلى في حالة التيار المتردد وهبوط السعة عند التشغيل لمدة طويلة (يتزايد سمك طبقة الأكسيد عند اللوح الموجب تزايدا بطيئا).

المكثفات التنتالومية الإلـكتروليتية، وتوجد بها - بخلاف المكثفات الإلـكتروليتية العادية - طبقة من أكسيد التنتالوم Ta_2O_5 كعازل كهربائي ذي معامل عزل كبير $\varepsilon_r = 26$ مقابل $\varepsilon_r = 7,5$ لأكسيد الألومنيوم Al_2O_3. والمكثفات التنتالومية ليست فقط أصغر من تلك المزودة بإلـكترودات من الألومنيوم، بل لها أيضا مزايا كهربائية واضحة. العيوب: ارتفاع الثمن لأن التنتالوم نادر نسبيا.

المكثفات النيوبيومية الإلـكتروليتية وهي تكون أخف من المكثفات التنتالومية الإلـكتروليتية بمقدار 25% وأرخص حاليا بنحو 10%. وتستخرج مادة التصنيع في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا، وهي أكثر وفرة من التنتالوم.

٨-٣-٢ المكثفات متغيرة السعة

أ) **المكثفات ذات الألواح الدوارة، ويكون فيها الهواء هو العازل الكهربائي.** وتتكون أساسا من مجموعتين من الألواح معزولتين عن بعضهما البعض. وتكون مجموعة الألواح المسماة بالعضو الدوار قابلة للدوران، وتظل تلك المسماة بالعضو الساكن ثابتة. ويمكن تغيير السعة عن طريق تحريك العضو الدوار، وتزداد السعة بدوران مجموعة الألواح المتحركة إلى داخل المجموعة الثابتة أكثر فأكثر.

ب) **مكثفات التهذيب** وهي مكثفات يمكن ضبطها بالإستعانة بمسمار لولبي، أي أنه يمكن تغيير المسافة بين الألواح، وبالتالي تغيير سعتها (مكثف انضغاطي)، ويثبّت غالبا في المكثفات ذات الألواح الدوارة المستخدمة في هندسة الراديو مكثفات تهذيب متغيرة لأغراض الضبط.

٨-٣-٣ رموز المكثفات

تطبع في أوروبا قيمة السعة على الوعاء الواقي للمكثف غالبا (مثلا 3 500 pF). وتستخدم في أمريكا ألوان مميزة، وتتكون الرموز من ثلاث نقط أو حلقات ملونة.

معنى الألوان :

أسود = 0	أحمر = 2	أصفر = 4	أزرق = 6	رمادي = 8
بني = 1	برتقالي = 3	أخضر = 5	بنفسجي = 7	أبيض = 9

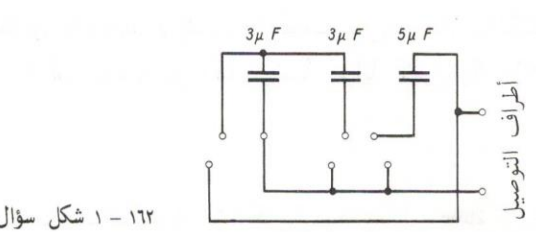
وتقرأ النقط من اليسار إلى اليمين، إذا كان اسم المنتج أو الرمز التجاري يقع على اليمين أو رأسيا. تعطي النقطة الأولى الرقم الأول والثانية الرقم الثاني والثالثة عدد الأصفار التالية. ويشار أحيانا إلى ترتيب النقط بسهم. وتعطى القيم دائما بالبيكوفاراد pF. وبقراءة مكثف سعته 3 500 pF من اليسار إلى اليمين توجد نقطة برتقالية ثم نقطة خضراء ثم نقطة حمراء - ويدل اللون الرابع على التفاوت الكهربائي المسموح به.

التفاوت المسموح به: بدون نقطة ملونة رابعة =20%± وعندما تكون النقطة الرابعة فضية اللون =10%± وإذا كانت النقطة الرابعة ذهبية =5%± والنقطة الرابعة حمراء =2%± والنقطة الرابعة بنية اللون =1%± وليس للألوان المختلفة لمكثفات التردد العالي الخزفية الألمانية أية علاقة بهذه الألوان المميزة، بل إنها ترمز إلى درجة جودة المادة، أي عامل الفقد والمعامل الحراري.

تمرينات

١ - يلزم الحصول على سبع قيم مختلفة للسعة بواسطة قابس وصل واحد أو اثنين أو ثلاثة. ارسم التوصيلات الممكنة تبعا لشكل (١٦٢-١). ما هي قيم السعة التي يمكن استخدامها؟

٢ - ما هي سعة مكثف يحمل الألوان المميزة من اليسار لليمين: النقط الملونة بنفسجي - أخضر - بني؟



١٦٢ - ١ شكل سؤال ١.

٩-١ المبادئ الأولية للحساب في هندسة التيار المتردد

يجب في غالب الأحيان جمع الجهود المترددة وتياراتها والمقاومات اللازم التغلب عليها وقدراتها باستخدام الرسم ولذا تعتبر المعرفة بالمثلث القائم الزاوية ضرورية .

٩-١-١ نظرية فيثاغوراس

وتستخدم لحساب الضلع الثالث في مثلث قائم الزاوية بمعلومية الضلعين الآخرين . ولأن النظرية لا تأخذ الزوايا في الإعتبار ، فإن مجال استخدامها محدود .

في المثلث قائم الزاوية يكون مربع الوتر مساويا لمجموع مربعي ضلعي الزاوية القائمة (شكل ١٦٣-١)

$$c^2=a^2+b^2;\ a^2=c^2-b^2;\ b^2=c^2-a^2$$

$$c=\sqrt{a^2+b^2};\ a=\sqrt{c^2-b^2};\ b=\sqrt{c^2-a^2}$$

مثال : احسب وتر مثلث قائم الزاوية ضلعاه $a=40\ mm;\ b=30\ mm$

المعطيات : $a=40\ mm;\ b=30\ mm$

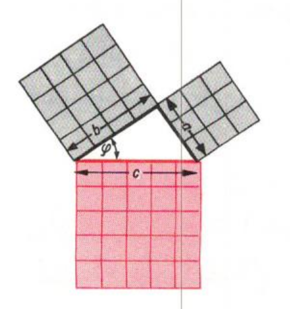
المطلوب : حساب طول الوتر (c) بوحدة (mm) .

الحل : $c=\sqrt{a^2+b^2}=\sqrt{1600\ mm^2+900\ mm^2}=50\ mm$

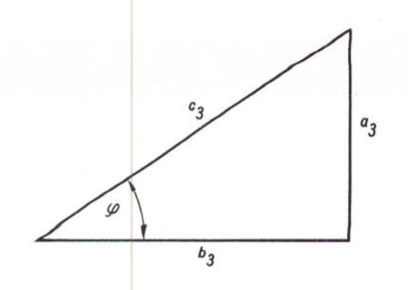
٩-١-٢ الدوال المثلثية

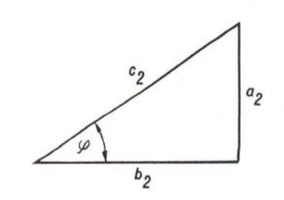
يمكن إيجاد علاقات حسابية بين أضلاع وزوايا مثلث بواسطة الدوال المثلثية ، بالرغم من اختلاف وحدات القياس (أضلاع المثلث بالمليمتر والزوايا بالدرجة) .

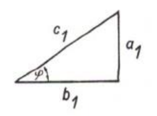
دالة الجيب : يبيِّن شكل (١٦٤-١) ثلاثة مثلثات قائمة الزاوية ولها جميعا نفس الزاوية φ، ولذا ينتج من تشابه المثلثات :



١٦٣ - ١ نظرية فيثاغوراس : a و b هما الضلعان المجاوران للزاوية القائمة ، فالضلع a يقابل الزاوية ويسمى الضلع المقابل . أما الضلع b فيجاور الزاوية ويسمى الضلع المجاور . والضلع c هو أكبر ضلع في المثلث القائم الزاوية ويقابل الزاوية القائمة ويسمى الوتر .







١٦٤ — ١ نسبة الأضلاع: تتساوى نسب الأضلاع $\frac{a}{c}$ و $\frac{b}{c}$ في المثلثات الثلاثة، حيث أن لها نفس الزاوية.

$$\frac{a_1}{c_1} = \frac{a_2}{c_2} = \frac{a_3}{c_3}$$

تعتمد نسبة الأضلاع $\frac{a}{c} = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}}$ على الزاوية φ فقط ولها دائمًا ذات القيمة لنفس الزاوية، بصرف النظر عن مدى كبر المثلث قائم الزاوية.

ملاحظة: في المثلث القائم الزاوية تسمى النسبة بين الضلع المقابل لزاوية ما والوتر بجيب هذه الزاوية Sine (sin). $\sin\varphi = \frac{a}{c};\ a = c\cdot\sin\varphi;\ c = \frac{a}{\sin\varphi}$.

وتؤخذ قيم جيوب الزوايا من الجداول

الزاوية	0°	25°	36°	45°	53°	60°	66°	72°	78°	84°	90°
sin φ	0	0,42	0,59	0,7	0,8	0,86	0,91	0,95	0,98	0,99	1
cos φ	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0

تسمى كل كمية متوقفة على كمية أخرى تبعا لقانون محدَّد بدالة للكمية الأخرى. ويكون $\frac{a}{c}$ دالة للزاوية φ لأن نسبة الأضلاع تعتمد على الزاوية φ (دالة مثلثية). والدوال المثلثية هي أعداد مطلقة (مثلا $a = 20\text{ mm};\ c = 30\text{ mm};\ \sin\varphi = \frac{20\text{ mm}}{30\text{ mm}} = 0{,}666$)

مثال: مثلث قائم الزاوية طول وتره 100 mm ويحصر مع الضلع المجاور زاوية قدرها 25°، فما طول الضلع المقابل؟

المعطيات: $c = 100\text{ mm};\ \varphi = 25°$

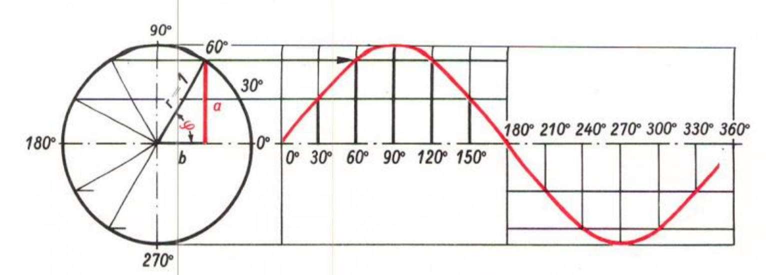
المطلوب: حساب طول الضلع (a) بوحدة (mm).

الحل: $a = c\cdot\sin\varphi = 100\text{ mm}\cdot 0{,}42 = 42\text{ mm}$

دائرة الوحدة ومنحنى دالة الجيب. يمكن بالرسم تعيين منحنى الجيب للزوايا المختلفة φ. ويكون الرسم بسيطا إذا بدأنا بدائرة الوحدة، أي بدائرة نصف قطرها r=1 (انظر شكل ١٦٥–١). ويكون طول الوتر في المثلث المرسوم واحدا صحيحا $c = r = 1$. ولذا فإن: $\sin\varphi = \frac{a}{c} = \frac{a}{1} = a$.

ومن ثم يمكن أن يقرأ جيب الزاوية مباشرة من طول المسافة a. وبنقل القيم $a = \sin\varphi$ المناظرة للزوايا المختلفة أمام زوايا دائرة الوحدة (المحور الأفقي) وبتوصيل النقط النهائية ينتج ما يسمى بمنحنى الجيب (شكل ١٦٥–١). وفي المجالات الهندسية يكون للدوال المثلثية أهمية كبيرة في تمثيل الكميات المتغيرة مع الزمن.

١٦٥ – ١ دائرة الوحدة والمنحنى الجيبي . الوضع $\varphi=60°$ موضح بالرسم



دالة جيب التمام. ينتج من تشابه المثلثات في شكل ١٦٤–١ : $\frac{b_1}{c_1}=\frac{b_2}{c_2}=\frac{b_3}{c_3}$.

وتعتمد نسبة الأضلاع : $\frac{b}{c} = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}}$ ، على الزاوية فقط .

ملاحظة : في المثلث القائم الزاوية تسمى النسبة بين الضلع المجاور والوتر بجيب تمام الزاوية (cos).

$\cos\varphi=\frac{b}{c};\ \ b=c\cdot\cos\varphi;\ \ c=\frac{b}{\cos\varphi}$.

وتؤخذ قيم جيوب تمام الزوايا من الجداول (انظر صفحة ١٦٤) .

مثال : مثلث قائم الزاوية طول وتره 50 mm وطول الضلع المجاور 25 mm ، فما مقدار φ؟

المعطيات : $c=50\ \text{mm};\ \ b=25\ \text{mm}$

المطلوب : حساب قيمة الزاوية φ .

الحل : $\cos\varphi=\frac{b}{c}=\frac{25\ \text{mm}}{30\ \text{mm}}=0{,}5$

وطبقا للجدول صفحة (١٦٤) تكون : $\varphi=60°$.

تمرينات

١ – احسب قطر المربع الذي يبلغ طول ضلعه a = 4,5 m !

٢ – وضع سلم طوله 6 m في وضع مائل على حائط ، أوجد :
أ) الارتفاع الذي يستند به السلم على الحائط إذا بلغت المسافة بين نهايته السفلى والحائط 1,2 m
ب) مقدار زاوية الميل التي يصنعها السلم مع الأرض .

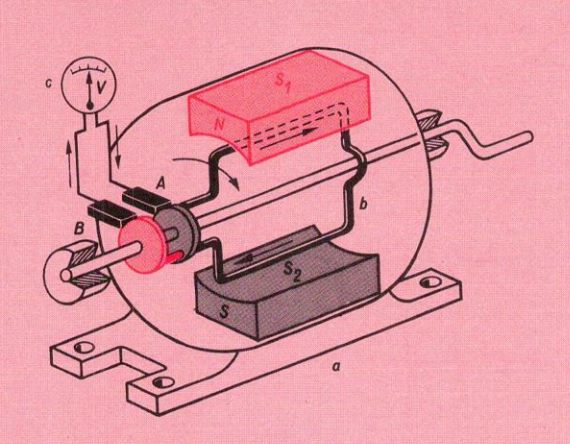
٣ – تحفظ قيم الدوال $\sin 60°=\cos 30°;\ \sin 45°=\cos 45°;\ \sin 30°=\cos 60°$ عن ظهر قلب (الجدول صفحة ١٦٤) .

٤ – أرسم منحنى الجيب ومنحنى جيب التمام (انظر شكل ١٦٥–١) .

٩–٢ توليد الجهد المتردد

اكتسب الحث الكهربائي بالحركة (انظر صفحة ١٣٥) أهمية عملية كبيرة في الهندسة الكهربائية ، إذ تنبني عليه نظرية عمل كافة المولدات الكهربائية . فلكي يمكن لمولد أن يولد جهدا حثيا ، يجب أن يحتوي على مجال مغنطيسي وملفات موصلة كهربائيا تتحرك خلاله بواسطة إدارة خارجية ، بحيث يتغير مقدار المجال المغنطيسي الذي تحيط به اللفات في كل لحظة ، أو بتعبير آخر ، يجب قطع خطوط المجال .

٩-٢-١ مقدار واتجاه التيار



توليد جهد متردد
مخطط التجربة

التجربة ٦٠ ينشأ جهد متردد يتبع منحنى جيبي من الحركة الدائرية لأنشوطة موصلة في مجال مغنطيسي.

التجهيزات: أ) عضو ثابت لمحرك تيار مستمر ذي قطبين بملفات تواز وتغذّى ملفات مجاله بتيار مستمر.

ب) أنشوطة موصلة قابلة للدوران مع حلقتي إنزلاق وفرشاتين A و B.

ج) ڤولطمتر حساس للتيار المستمر، صفر التدريج في الوسط.

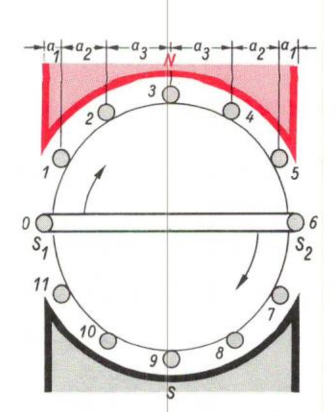
خطوات العمل: حرِّك الأنشوطة الموصَّلة بسرعة ثابتة في المجال المغنطيسي بواسطة المرفق. راقب الڤولطمتر.

المشاهدة: يتأرجح مؤشر الڤولطمتر يمينا ويسارا بالتبادل حول صفر التدريج.

النتيجة: يغير الجهد المستحث قيمته باستمرار كما يغير اتجاهه دوريا.

إذا ما أدير ملف ذو لفة واحدة بين قطبين مغنطيسيين مختلفين بسرعة ثابتة، فإن جهدا يستحث في ضلعي الملف s_1 و s_2. وتبعا لقانون لينز يجب أن يكون اتجاه الجهد بحيث يشترك المجال المغنطيسي الحلقي المتولد بسببه مع المجال الرئيسي، في محاولة إعاقة حركة الموصل. ويكون اتجاها الجهدين على ضلعي الملف s_1 و s_2 متضادين. ولما كان ضلعا الملف متصلين على التوالي فإنه يمكن الحصول على ضعف الجهد عند طرفي توصيل الملف.

يعزل طرفا الملف عن بعضهما البعض ويوصلان بحلقتي إنزلاق مثبتتين على محور الدوران. ويمكن أخذ الجهد المتولد من الفرشاتين A و B. وإذا ما حرك الموصلان s_1 و s_2، المكونان لملف واحد، حركة دائرية وبسرعة ثابتة في خلال مجال متساوي الشدة عند كل نقطة (أي متجانس) فإنهما يحاطان بمقدار كبير أو صغير من المجال حسب وضعهما اللحظي (خطوط مجال كثيرة أو قليلة) (شكل ١٦٧-١). فإذا كان الموصلان في الوضع 0 و 6 (المنطقة المتعادلة)، فإن مقدار المجال الذي يُحيطان به لا يتغير، أي لا يستحث جهد (بتعبير آخر: تتحرك الأنشوطة الموصلة في اتجاه خطوط المجال، أي لا تقطع أية خطوط للمجال). فإذا ما وجد الموصلان مثلا بعد $1/_{600}$ من الثانية في الوضع 1 و 7، فإن عرض منطقة المجال المقطوعة في هذه اللحظة يبلغ a_1 وفيما بعد يصل الموصلان إلى الوضعين 2 و 8 وتقطع منطقة مجال عرضها a_2. بعد فترة أخرى تبلغ $1/_{600}$ من الثانية تقطع منطقة مجال عرضها a_3 حينما يصل الموصلان إلى الوضع 3 و 9. وإذا تتبعنا وضع الملف بعد ذلك حتى يتخذ الموصل s_1 الوضع 6 ويوجد الموصل s_2 بالتالي في الوضع 0 (منطقة التعادل)، فإننا نجد أن الموصلات تقطع مقادير مختلفة من المجال خلال نصف دورة أثناء فترات زمنية متساوية، وبذلك تتغير قيمة الجهد المتولد في كل لحظة.



١٦٧ - ١ علاقة الجهد المستحث مع سرعة قطع خطوط المجال .

وإذا أدير الملف في نفس الاتجاه نصف دورة أخرى ، فإن العملية تتكرر ، مع ملاحظة أن الموصل s_1 يمر حينئذ أمام القطب الجنوبي ، ويمر الموصل s_2 أمام القطب الشمالي . وتكون الجهود المتولدة في الموصلين عندئذ متساوية في المقدار للأوضاع المناظرة في نصف الدورة الأول ، ولكنها تصبح في اتجاه مضاد . وإذا رسمت المسافة المقطوعة في الدورة الكاملة للملف $(d \cdot \pi)$ كخط أفقي مستقيم ، والجهود المتولدة في الأوضاع المختلفة كمسافات رأسية ، فإننا نحصل على الذبذبة المرسومة في شكل (١٦٧-٢) . ويكون رسم الجهد معكوس الإتجاه ومتكرر كل نصف دورة للأنشوطة الموصلة إلى أسفل ، وهندسيا تسمى الذبذبة المرسومة بمنحنى الجيب .

٩-٢-٢ الدورة والتردد

يسمى تغير الجهد من $0°$ إلى $180°$ بنصف الموجة الموجب ، ومن $180°$ إلى $360°$ بنصف الموجة السالب . وتتكون الدورة من نصف موجة موجب وآخر سالب (شكل ١٦٧-٢) . ويسمى الزمن اللازم لإتمام دورة كاملة بالزمن الدوري ويرمز له بالرمز T .

ملاحظة : يسمى عدد الدورات في الثانية بالتردد ويرمز له بالرمز f . ووحدة التردد هي الدورة الواحدة في الثانية أو الهرتز (Hz) Hertz* .

وحدة SI المشتقة :

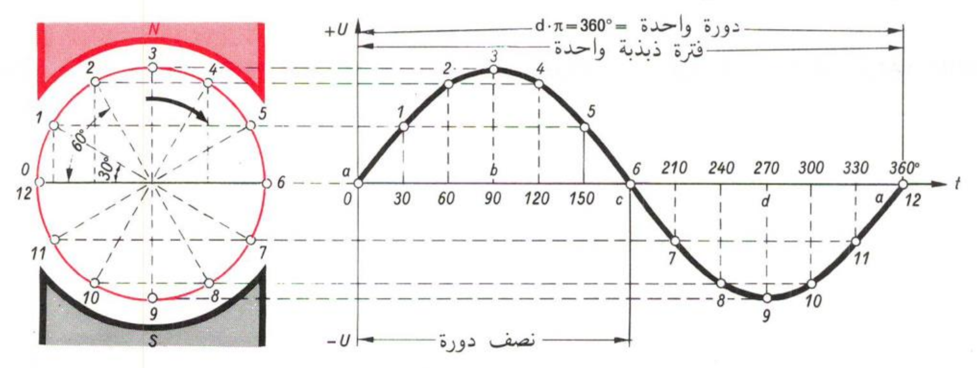
ويساوي الهرتز تردد عملية دورية زمنها الدوري ثانية واحدة .

. 1 kHz = 1000 Hz = 10^3 Hz; 1 MHz = 1000 kHz = 1000 000 Hz = 10^6 Hz

في الحسابات التي يرتبط فيها التردد بكميات أخرى ، يكون التعويض $1\,\text{Hz} = \frac{1}{\text{ثانية}} = \frac{1}{s} = s^{-1}$. توجد بين الزمن الدوري T والتردد f العلاقة

$$T = \frac{1}{f}$$

١٦٧ - ٢ تغير الجهد المستحث مع الزمن (منحنى جيبي) .



* هرتز Hertz ، عالم فيزياء ألماني ، ١٨٥٧-١٨٩٤ .

مثال ١ : حَوِّل 7,5 MHz إلى Hz

الحل : $7{,}5\ MHz = 7{,}5 \cdot 10^6\ Hz = 7{,}5 \cdot 1000\,000\ Hz = 7\,500\,000\ Hz$

مثال ٢ : عند $T = 0{,}02\ s$ يبلغ التردد $f = 1 \div T = 1 \div 0{,}02\ s = 50\ s^{-1} = \frac{50\ per}{s} = 50\ Hz$

تتحرك الإلـكترونات في حالة التيار المتردد في الموصل الـكهربائي تبادليا إلى الأمام وإلى الخلف، أي أنها تكون على عكس التيار المستمر حيث تتأرجح حول وضع الإتزان. ففي حالة $f = 50\ Hz$ تتحرك الإلـكترونات إلى الأمام وإلى الخلف خمسين مرة في الثانية.

وتختلف خواص التيار ذي التردد المنخفض عن تلك الخواص المصاحبة للترددات العالية. وتسمى الترددات من 1 Hz إلى 100 Hz بالتردد المنخفض، والترددات أعلى من 20 000 Hz بالتردد العالي. ويكون تردد التيار المتردد المستخدم للإضاءة ولوحدات الطاقة 50 Hz أو 60 Hz وذلك المستخدم لخطوط السكك الحديدية الكهربائية $16^2/_3\ Hz$.

٩-٢-٣ العلاقة بين التردد وعدد أزواج الأقطاب وسرعة الدوران التي تتحرك بها الأنشوطات الموصلة في المجال المغنطيسي

في التجربة (٦٠) يدور الملف في آلة ذات قطبين. فإذا أريد توليد تيار تردده $f = 50\ Hz$، فإنه يجب أن يدور الملف 50 مرة كل ثانية، أي 3000 مرة كل دقيقة. وإذا ما وجد أكثر من قطبين (زوج من الأقطاب=قطب شمالي وقطب جنوبي) في الآلة، فإنه يتولد في دورة واحدة للملف عدد من دورات التيار يساوي عدد أزواج الأقطاب الموجودة. فإذا رمز لأزواج الأقطاب بالرمز p وعدد دورات الملف في الدقيقة بالرمز n، فإنه يمكن حساب التردد بالهرتز طبقا للمعادلة العددية.

$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

مثال : احسب تردد الجهد المتردد إذا دار العضو الدوار في مولد تيار ذي أربعة أقطاب 1500 دورة في الدقيقة؟

المعطيات : $p = 2;\ n = 1500\ r.p.m.$

المطلوب : حساب التردد (f) بوحدة (Hz).

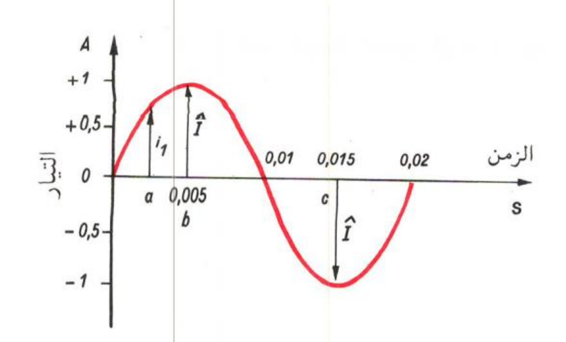
الحل : $f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 1500}{60} = 50\ Hz$

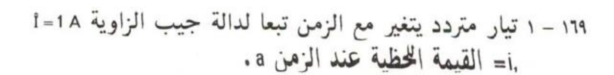
تمرينات

١ - ما هي العوامل التي يتوقف عليها مقدار الجهد المتردد المتولد؟

٢ - حوِّل 400 MHz إلى Hz.

٣ - كم عدد أزواج الأقطاب التي يجب أن يحتويها مولد تيار متردد، إذا لزم توليد جهد تردده $f = 100\ Hz$ عند سرعة دوران 1000 r.p.m.؟




١٦٩ - ١ تيار متردد يتغير مع الزمن تبعا لدالة جيب الزاوية $\hat{I}$=1 A
i_1= القيمة اللحظية عند الزمن a .

٩-٣ الأمبيرمتر والڤولطمتر للتيار المتردد

٩-٣-١ القيمة العظمى والقيمة الفعالة

للتيار المتردد المرسوم في شكل ١٦٩-١ تردد f=50 Hz لأنه يحتاج إلى 0,02 s حتى تتم دورة أو ذبذبة واحدة. وفي خلال كل نصف موجة يصل التيار في اللحظتين b و c إلى قيمته العظمى $\hat{I}$ والمفترضة هنا 1 A. ولا يمكن أن يتم قياس التيار المتردد بجهاز قياس التيار المستمر، لأن المؤشر (التجربة ٦٠) عند تردد f=50 Hz مثلا، يجب أن يغير اتجاهه مائة مرة في الثانية. ولكونه بطيء الحركة (قصوره الذاتي كبير) فإنه يظل في وضع الصفر. وعلى العكس من ذلك فإن مؤشر جهاز قياس التيار المتردد ينحرف في اتجاه واحد فقط، ولعدم تمكنه من ملاحقة التغير السريع المستمر في التيار فإنه ينضبط عند قيمة تسمى بقيمة الجذر التربيعي لمتوسط المربعات. وتعرف هذه القيمة أيضا بالقيمة الفعالة أو القيمة المؤثرة.

٩-٣-٢ التفرقة بين القيمة المتوسطة الحسابية (الجبرية) وقيمة الجذر التربيعي لمتوسط المربعات (الهندسية)

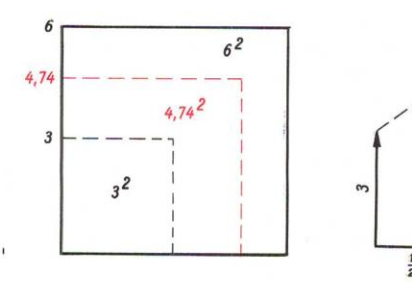
تبلغ القيمة المتوسطة الحسابية (شكل ١٦٩-٢) لمسافتي 3 cm و 6 cm المقدار:

$$\frac{3\,cm + 6\,cm}{2}$$

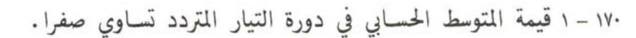
وتبعد القيمة 4,5 عن 3 مثلما تبعد تماما عن 6.

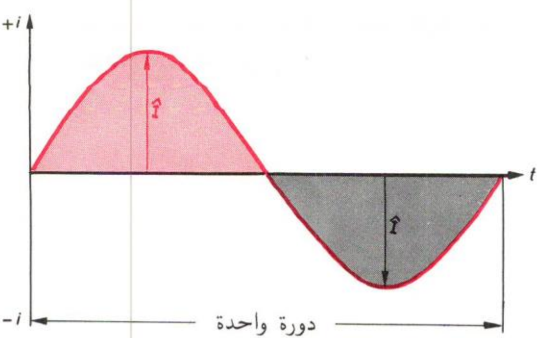
قيمة الجذر التربيعي لمتوسط المربعات (شكل ١٦٩-٣) لمسافتي 3 cm و 6 cm: القيمة المتوسطة للمربعات = $\frac{(3\,cm)^2+(6\,cm)^2}{2}=22,5\,cm^2$. وتبعد $22,5\,cm^2$ عن $9\,cm^2$ مثلما تبعد عن $36\,cm^2$ تماما، ويبلغ الجذر التربيعي لمتوسط المربعات: $\sqrt{22,5\,cm^2}=4,74\,cm$.

١٦٩ - ٢ تعيين القيمة المتوسطة (المتوسط الحسابي) بالرسم. وقع القيمتين على خط إسناد طبقا لمقياس الرسم. صل نقطتي النهاية معا ونصّف خط الإسناد. تعطي المسافة الرأسية من نقطة التنصيف إلى خط التوصيل القيمة المتوسطة.



١٦٩ - ٣ تمثيل الجذر التربيعي لمتوسط المربعات.


١٧٠ - ١ قيمة المتوسط الحسابي في دورة التيار المتردد تساوي صفرا.



مثال للمساحة II

0,26

0,38

0,5

II

١٧٠ - ٢ إيجاد قيمة المتوسط الحسابي لنصف ذبذبة تيار متردد بالرسم. تحوّل مساحة نصف دورة إلى مستطيل له نفس المساحة.

للقيمة العظمى $\hat{I} = 1\ A$ يكون :

$i_1 = 0{,}13\ A$

$i_2 = 0{,}38\ A$

$i_3 = 0{,}603\ A$

$i_4 = 0{,}786\ A$

$i_5 = 0{,}916\ A$

$i_6 = 0{,}983\ A$

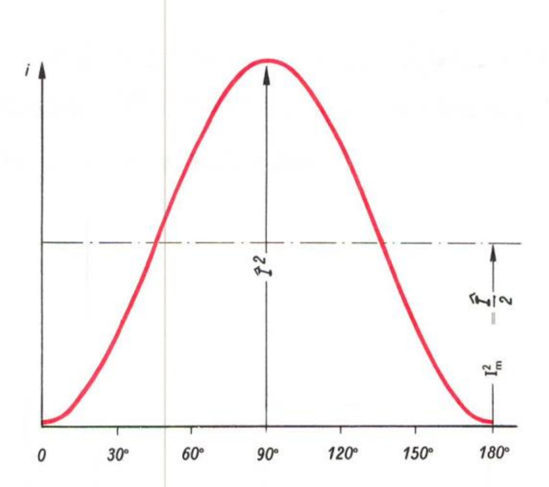
المجموع = $3{,}798\ A$

القيمة المتوسطة I_m

$$= \frac{3{,}798\ A}{6}$$

$$= 0{,}633\ A$$

وبصفة عامة : فلأي قيمة عظمى اختيارية يكون : $I_m = 0{,}633 \cdot \hat{I}$



١٧٠ — ٣ منحنى مربع التيار i^2؛
حيث Î= القيمة العظمى للتيار وi^2= مربع القيمة اللحظية للتيار.

ملاحظة : القيمة المتوسطة الحسابية لدورة تيار متردد (منحنى جيبي) تساوي صفرا، لأن القيم الموجبة في نصف موجة تساوي القيم المناظرة في نصف الموجة السالب (شكل ١٧٠ – ١) . وللقيمة المتوسطة الحسابية لنصف موجة تيار متردد أهمية، في تقدير قيمة التيار المستمر عند تقويم التيار المتردد أو الترسيب الكيميائي (التحليل بالكهرباء) للتيار .

ويمكن استنتاج القيمة المتوسطة التقريبية بالرسم (شكل ١٧٠–٢) باتباع الآتي :

أ) تقسيم ربع الموجة (يكفي نتيجة لتماثل المنحنى) إلى المساحات من I إلى VI .

ب) إيجاد الارتفاعات المتوسطة طبقا لشكل (١٦٩–٢) .

جـ) قسمة مجموع متوسط الارتفاعات على عدد المساحات، وهي هنا ستة . ويمكن حساب القيمة المتوسطة الحسابية I_m بواسطة الدوال المثلثية .

$$i_1 = \hat{I}\cdot\sin\ 7{,}5° = 0{,}13\ \cdot\hat{I} \qquad I_m = \frac{3{,}827}{6}\cdot\hat{I}$$
$$i_2 = \hat{I}\cdot\sin\ 22{,}5° = 0{,}382\cdot\hat{I}$$
$$i_3 = \hat{I}\cdot\sin\ 37{,}5° = 0{,}608\cdot\hat{I}$$
$$i_4 = \hat{I}\cdot\sin\ 52{,}5° = 0{,}793\cdot\hat{I}$$
$$i_5 = \hat{I}\cdot\sin\ 67{,}5° = 0{,}923\cdot\hat{I} \qquad I_m = 0{,}637\cdot\hat{I}$$
$$i_6 = \hat{I}\cdot\sin\ 82{,}5° = 0{,}991\cdot\hat{I}$$

المجموع = $3{,}827\cdot\hat{I}$

٩–٣–٣ الجذر التربيعي لمتوسط المربعات (القيمة الفعالة) لنصف موجة تيار متردد وعلاقته بتحديد قدرة التيار

تتساوى الحرارة المتولدة في مدفأة كهربائية سواء وصلت على جهد مستمر أو على جهد متردد قدره 220 V، إذ يعتمد توليد الحرارة في ملف التسخين على القدرة $P = I^2\cdot R$، أي أنه يتناسب طرديا مع مربع شدة التيار . فإذا تم تربيع كل القيم اللحظية لمنحنى التيار فإننا نحصل على «منحنى I^2» . وباستخدام الارتفاعات المتوسطة للمساحات الجزئية من I إلى VI بشكل (١٧٠–٢) لهذا الغرض، فإننا نحصل على نصف الموجة المرسوم في شكل (١٧٠–٣) .

المساحة I : $i_1^2 = 0{,}13^2\ \cdot\hat{I}^2 = 0{,}0169\cdot\hat{I}^2$
المساحة II : $i_2^2 = 0{,}382^2\cdot\hat{I}^2 = 0{,}1459\cdot\hat{I}^2$
المساحة III : $i_3^2 = 0{,}608^2\cdot\hat{I}^2 = 0{,}3696\cdot\hat{I}^2$
المساحة IV : $i_4^2 = 0{,}793^2\cdot\hat{I}^2 = 0{,}6288\cdot\hat{I}^2$
المساحة V : $i_5^2 = 0{,}923^2\cdot\hat{I}^2 = 0{,}8519\cdot\hat{I}^2$
المساحة VI : $i_6^2 = 0{,}991^2\cdot\hat{I}^2 = 0{,}9820\cdot\hat{I}^2$
المجموع = $2{,}9951\cdot\hat{I}^2$

وبجمع القيم المربعة وقسمة المجموع الكلي على عدد المساحات الجزئية، أي على ستة، فإننا نحصل على متوسط المربعات ($\hat{I}^2_{eff}$) . وبأخذ الجذر التربيعي ينتج الجذر التربيعي لمتوسط المربعات (القيمة الفعالة) .

$$I^2_{eff} = \frac{2{,}9951}{6}\cdot\hat{I}^2 \qquad I^2_{eff} = 0{,}5\cdot\hat{I}^2 \qquad I_{eff} = \sqrt{0{,}5\cdot\hat{I}^2}$$

$$I_{eff} = 0{,}707\cdot\hat{I} \qquad \hat{I} = 1{,}41\ I_{eff}$$

القيمة الفعالة للتيار المتردد تساوي 0,707 من القيمة العظمى.

ملاحظة: تكون القيمة الفعالة لتيار متردد 1 A، إذا أنتج نفس التأثير الحراري الذي ينتجه تيار مستمر شدته 1 A، في سلك تحت نفس الظروف

٩-٣-٤ بيان ڤولطمتر التيار المتردد للقيمة الفعالة

$$U_{eff} = 0,707 \cdot \hat{U}$$

$$\hat{U} = 1,41 \cdot U_{eff}$$

ويصلح كل ما ذكر عن التيار المتردد بالمناظرة أيضا للجهد المتردد.

٩-٣-٥ أهمية القيم الفعالة عن القيم العظمى

تذكر كل البيانات العددية دائما بقيمها الفعالة ما لم يذكر غير ذلك. وتبين هذه القيم بواسطة أجهزة قياس التيار والجهد العادية. ولذا أصبح من المعتاد عدم كتابة الدليل مع الرمز المستخدم لهذه القيم، فيكتب ببساطة $U = 220\ V$ بدلا من $U_{eff} = 220\ V$. ويسري نفس الوضع على قيم التيار.

ويمكن قياس القيم العظمى – وتسمى أيضا بالقيم القصوى أو الذروية – بمرسمة تذبذبات (أوسيلوجراف) مثلا. وتكون للقيمة العظمى $\hat{U}$ أهمية مثلا عند اختبار مقدرة العزل للملفات. وتتطلب تعليمات VDE الخاصة بالآلات الكهربائية وما شابهها أن يتم الاختبار بواسطة جهد يعادل عدة أمثال جهد التشغيل.

مثال ١: ما هي القيمة الفعالة التي يبينها الأمبيرمتر، إذا سرى تيار تبلغ قيمته العظمى 10 A في مقاومة تسخين (R) قدرها 10 Ω، وما مقدار القدرة التي تتحول بذلك إلى حرارة؟

المعطيات: $\hat{I} = 10\ A;\ R = 10\ \Omega$

المطلوب: حساب شدة التيار (I) بوحدة (A) والقدرة (P) بوحدة (W).

الحل: $I = 0,707 \cdot \hat{I} = 7,07\ A$

$P = I^2 \cdot R = 7,07\ A \cdot 7,07\ A \cdot 10\ \Omega = 500\ W$

مثال ٢: ما مقدار أعلى جهد يجب أن يتحمله عزل لفات تيار متردد، إذا بلغت قيمة الجهد الفعال 660 V؟

المعطيات: $U = 660\ V$

المطلوب: حساب القيمة اللحظية العظمى ($\hat{U}$) للجهد بوحدة (V).

الحل: $\hat{U} = \frac{U}{0,707} = \frac{660\ V}{0,707} = 935\ V$

تمرينات

١ – اذكر تيارات مترددة مختلفة التردد مع بيان أوجه استخدامها.

٢ – ارسم منحنى دورة تيار متردد له $\hat{I} = 12\ A$ وتردده $16^2/_3\ Hz$ تبعا لشكل (١٦٩–١).

٣ – وضِّح الفرق بين القيمة الفعالة والقيمة العظمى للتيار المتردد.

٤ – يُقوِّم مقوِّم للتيار كلاً من نصفي موجة تيار متردد إلى اتجاه واحد. ما هي شدة التيار المستمر المتوقعة إذا بلغت القيمة العظمى للتيار المتردد 10 A؟ (تؤخذ القيمة المتوسطة الحسابية في الاعتبار).

١٠ أسس الدوائر البسيطة للتيار المتردد

١٠-١ المقاومة الفعالة الخالصة في دائرة التيار المتردد

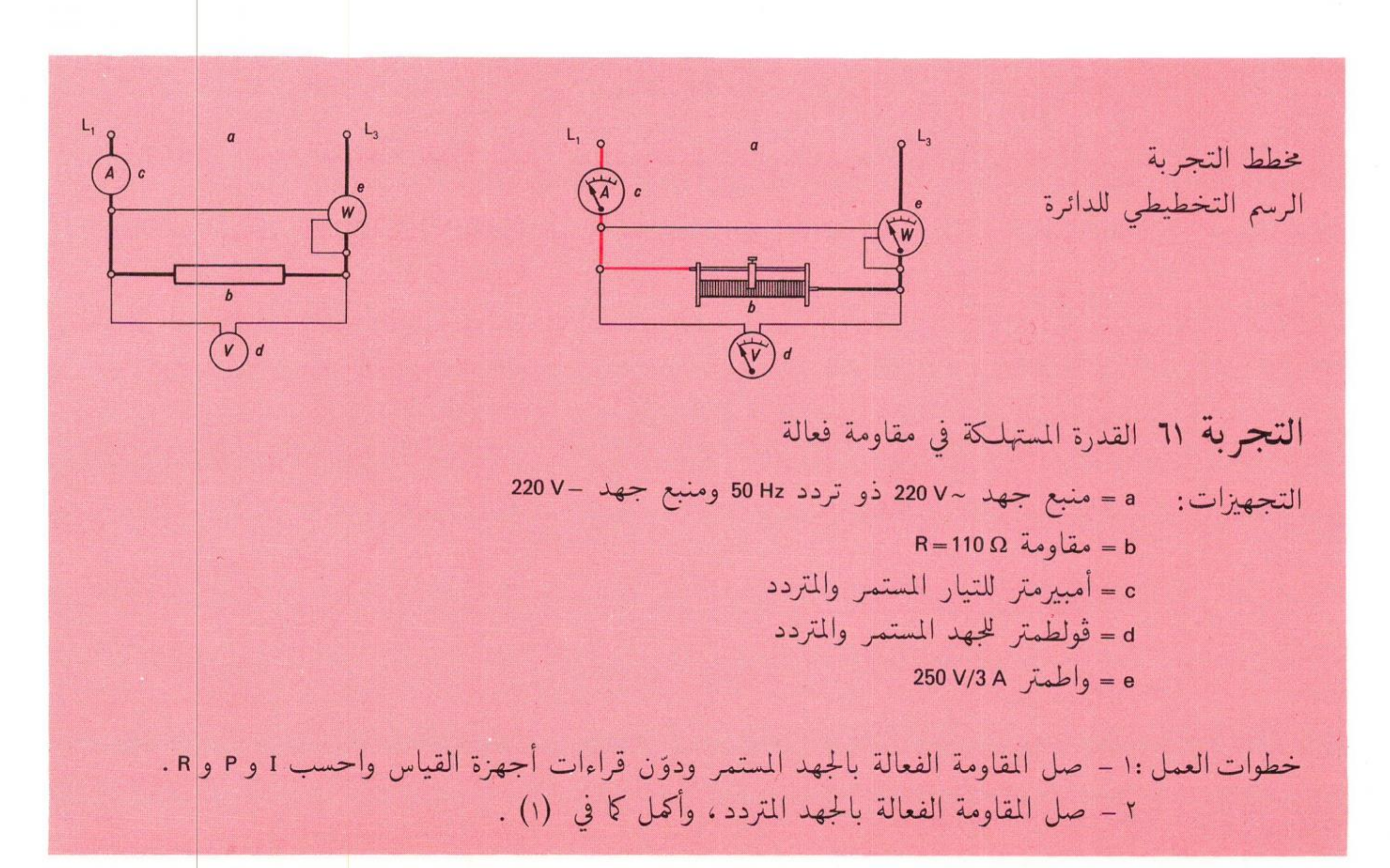
١٠-١-١ مقاومة الموصل والمقاومة الفعالة

تسمى المقاومات التي لا تسبب إزاحة في الطور بين التيار والجهد في هندسة التيار المتردد بالمقاومات الفعالة، وتنتمي إليها: المقاومات الأومية (الخطية) ومقاومات التسخين والملفات الملفوفة بسلك مزدوج (شكل ١٤٦-١) وكذلك بعض المقاومات غير الخطية مثل مصابيح الإضاءة. في هذه الحالة يتحدث الفنيون عن تحميل خال من الحث والسعة.

وتناظر المقاومة الفعالة مقاومة الموصل (المقاسة بمرور تيار مستمر أو المحسوبة طبقا لقانون المقاومة) في الترددات المنخفضة، أما في الترددات العالية جدا وفي المقاطع الكبيرة للموصلات فتكون المقاومة الفعالة الناشئة عن ظاهرة التركيز السطحي للتيار أكبر من مقاومة الموصل.

مثال: مقاومة موصل من النحاس مساحة مقطعه $10\ mm^2$ وطوله 1 m هي $R = 0{,}00174\ \Omega$. وتبلغ المقاومة الفعالة R عند تردد $f = 50\ Hz$ كذلك $0{,}00174\ \Omega$، إلا أنها تصبح $0{,}068\ \Omega$ عند تردد $10^7\ Hz$.

١٠-١-٢ توافق التيار والجهد في الطور إذا وجدت مقاومة فعالة في الدائرة الكهربائية



التجربة ٦١ القدرة المستهلكة في مقاومة فعالة

التجهيزات: a = منبع جهد ~220 V ذو تردد 50 Hz ومنبع جهد –220 V
b = مقاومة $R = 110\ \Omega$
c = أمبيرمتر للتيار المستمر والمتردد
d = ڤولطمتر للجهد المستمر والمتردد
e = واطمتر 250 V/3 A

خطوات العمل: ١ – صل المقاومة الفعالة بالجهد المستمر ودوّن قراءات أجهزة القياس واحسب I و P و R.
٢ – صل المقاومة الفعالة بالجهد المتردد، وأكمل كما في (١).

القراءات :	القيم المقاسة			القيم المحسوبة		
	P (W)	I (A)	U (V)	R (Ω)	I (A)	U·I (W)
	440	2	220 –	110	2	440
	440	2	220 ~	110	2	440

النتيجة : تتفق القيم المقروءة على أجهزة القياس عند التوصيل على جهد مستمر أو على جهد متردد مع القيم الناتجة بالحساب عند وجود مقاومة فعالة في الدائرة، وتتساوى قيمة المقاومة الفعالة لكل من نوعي الجهد.

تُظهر التجربة (٦١) أن الجهد المتردد يدفع خلال أي مقاومة فعالة تيارا مترددا يمكن حسابه بقانون أوم البسيط وتتحول الطاقة الكهربائية كلِّيةً إلى حرارة. ويمكن رؤية منحنيات التيار والجهد بواسطة مرسمة التذبذبات ذات الشعاعين، وعند وجود مقاومات فعالة فقط في الدائرة فإننا نرى الصورة المرسومة في شكل (١٧٤–١) على شاشة مرسمة التذبذبات.

اللحظة a : الجهد يساوي صفرا وتبعا لذلك يجب أن يكون التيار صفرا.

اللحظة b : وصل الجهد إلى القيمة العظمى Û التي تصل بالتيار أيضا إلى قيمته العظمى Î.

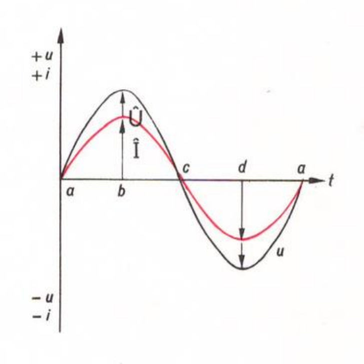
اللحظة c : قيمتا التيار والجهد تساويان صفرا.

اللحظة d : انعكس اتجاه الجهد وبلغ القيمة العظمى السالبة التي تولد أيضا تيارا في الاتجاه العكسي.

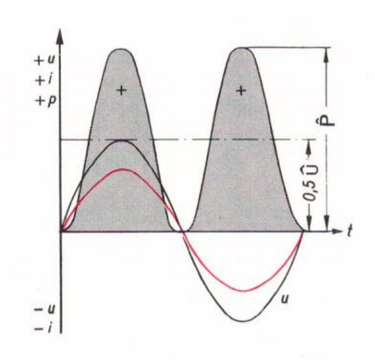
تبين المنحنيات المرسومة أن ذبذبات الجهد وذبذبات التيار تصل في نفس الوقت إلى القيمة العظمى أو إلى الصفر، ويقول الفنيون في هذا الصدد: «في حالة التحميل الخالي من الحث والسعة يكون التيار والجهد متوافقين (متحدين) في الطور»*.

١٠–١–٣ تساوي القيمة المتوسطة لقدرة التيار المتردد وقدرة التيار المستمر

نحصل على منحنى القدرة عند التحميل الفعال الخالص (شكل ١٧٤–٢)، إذا ما كونّا حاصل ضرب القيمة اللحظية للجهد في القيمة اللحظية للتيار عند كل لحظة خلال دورة ثم وقعنا القيم المحسوبة في رسم بياني بمقياس مناسب. ويجب الإنتباه إلى أن كلا من الجهد والتيار سالبان في النصف السالب من الموجة. ولما كان حاصل ضرب كميتين سالبتين هو كمية موجبة، فإن $+p=(-i)\cdot(-u)$.



١٧٤ – ١ التيار والجهد متوافقان (متحدان) في الطور.



١٧٤ – ٢ يكوّن منحنى تغير القدرة مع الزمن منحنيا جيبيا كذلك، إلا أن له ضعف تردد U و I وتبلغ القيمة المتوسطة للقدرة: $\frac{\hat{U}\cdot\hat{I}}{2}=\frac{\hat{P}}{2}$

* متوافقان زمنيا

وعلى ذلك فإن قيم p للنصف السالب من الموجة توقّع أيضا في النصف العلوي من المخطَّط . وفي كل الأحوال يجب أن يولد التيار حرارة في المقاومة بغض النظر عن اتجاه سريانه (التجربة ١) . ويبين الواطمتر المستخدم في التجربة (٦١) ، المقدار الناتج من ضرب القيم الفعالة المبينة على الڤولطمتر والأمبيرمتر $I=0{,}707\,\hat{I}$ و $U=0{,}707\,\hat{U}$.

ولما كان $0{,}707\,\hat{U}\cdot 0{,}707\,\hat{I}=0{,}5\,\hat{p}$ ، فإن الواطمتر يبين نصف قيمة $\hat{p}$ ، أي أنه يمكن حساب القدرة تماما كما في حالة التيار المستمر .

ملاحظة : إذا وجدت مقاومات فعالة فقط في دائرة التيار المتردد ، فإنه يمكن حساب القدرة كما في التيار المستمر طبقا للمعادلة $P=U\cdot I$ وتعطى بالواط .

مثال : تتصل مقاومة فعالة قيمتها $R=55\,\Omega$ ، بجهد متردد $U=220\,V\sim,\ 50\,Hz$ احسب :
أ) القيمة الفعالة والقيمة العظمى للتيار ،
ب) القيمة العظمى للجهد الموصل ،
ج) القدرة المستهلكة .

المعطيات : $R=55\,\Omega;\ U=220\,V\sim;\ 50\,Hz$

المطلوب : حساب شدة التيار (I) والقيمة العظمى للتيار ($\hat{I}$) بوحدة (A) والقيمة العظمى للجهد ($\hat{U}$) بوحدة (V) والقدرة (P) بوحدة (W) .

الحل : $I=\frac{U}{R}=\frac{220\,V}{55\,\Omega}=4\,A;\ \hat{I}=1{,}41\cdot 4\,A=5{,}64\,A$

$\hat{U}=1{,}41\cdot 220\,V=310\,V;\ P=U\cdot I=220\,V\cdot 4\,A=880\,W$

تمرينات

١ – اشرح بالإستعانة بشكل (١٤٦–١) لماذا يعتبر الملف الملفوف بسلك ثنائي مقاومة فعالة؟
٢ – يحصر منحنى القدرة (شكل ١٧٤–٢) مساحتين ، فما هو المدلول (التعريف) الكهربائي للمساحات؟
٣ – ما هي النسبة المئوية لزيادة المقاومة الفعالة عند تردد $10^7\,Hz$ عن مقاومة الموصل في المثال بصفحة ١٧٣؟
٤ – ارسم منحنى القدرة بالقيم $\hat{I}=5\,A;\ \hat{U}=200\,V\sim$ طبقا للشكل ١٧٤–٢ باستخدام مقاييس رسم مناسبة .
٥ – يستهلك مسخن مياه كهربائي متصل بتيار متردد 50 Hz و 220 V في ثلاث ساعات طاقة مقدارها 10 kWh ، فما مقدار المقاومة الأومية لملف التسخين؟
٦ – اذكر الشروط الواجب توافرها لكي يكون التيار والجهد متوافقين في الطور .

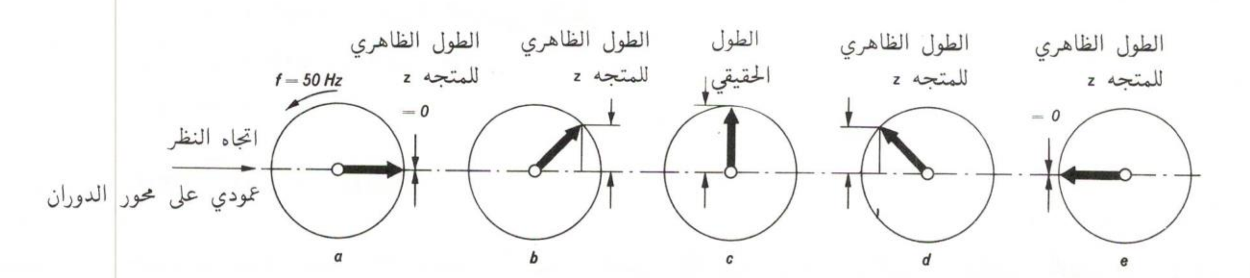
١٠–٢ تمثيل الكميات المترددة بالمتجهات

١٠–٢–١ مخطط المتجهات كصورة إجمالية أفضل من الرسم الموجي

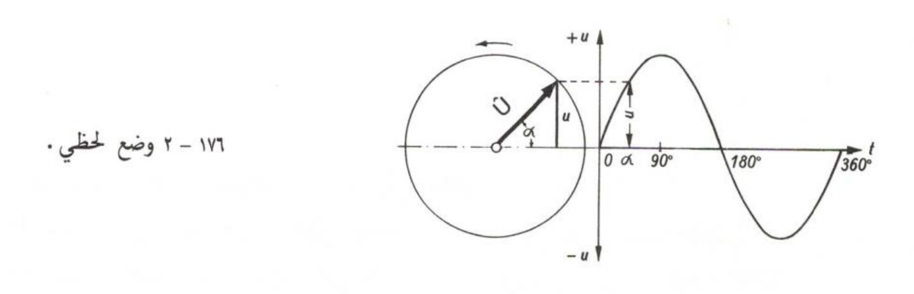
من الصعوبة بمكان رسم مجموعة كبيرة من كميات مترددة ذات تغيير جيبي مع الزمن وبين بعضها البعض إزاحة طورية على شكل منحنيات جيبية (موجبة) . إلا أن التمثيل بالمتجهات يعتبر أسهل في العرض وفي التنفيذ . فمن خلال مراقبة متجه (مؤشر) يدور بسرعة زاوية ثابتة وإسقاطه عموديا على محور دورانه يمكن إظهار المسلك الجيبي للقيم المترددة بوضوح .

ملاحظة : إصطُلح على أن يكون دوران المتجه في عكس اتجاه دوران عقرب الساعة . وبالنظر إلى المتَّجه الدائر عموديا على محور دورانه أثناء نصف دورة (شكل ١٧٦–١) ، فإن طوله الظاهري في اللحظة a يكون صفرا .

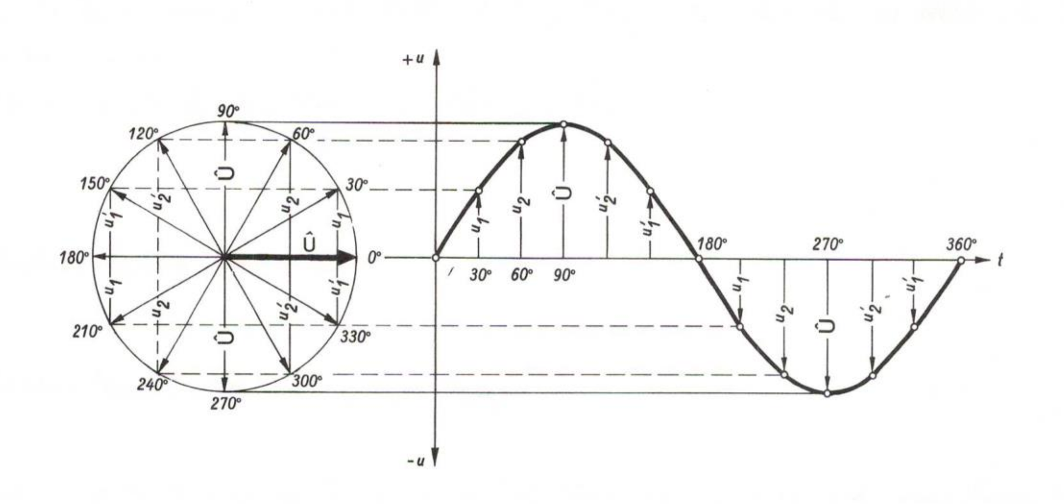
وبعد ذلك يزداد طوله الظاهري في البداية بسرعة ثم ببطء حتى يصل إلى طوله الحقيقي (من b إلى c) ، ثم ينقص بعد ذلك حتى يصل إلى الصفر (من d إلى e) وهكذا. وتناظر دورة المتجه الكاملة فترة ذبذبة أو دورة (Cycle) . ويبين شكل (١٧٦-٢) الطول الظاهري للمتجه u (القيمة اللحظية) والطول الحقيقي û والزاوية α المحصورة بين المتجه واتجاه النظر . ويسمى ذلك بتغير جيبي للكمية المترددة، نظراً لأنه في المثلث القائم الزاوية يكون $\sin\alpha = u \div \hat{u}$. وإذا دار المتجه û من وضع بدايته 0° دورة كاملة في عكس اتجاه دوران عقارب الساعة (شكل ١٧٦-٣) ، وسُجّل كل وضع على فترات 30° على التوالي، نحصل على منحنى جيبي للجهد بقيمة عظمى û . ولهذا الغرض تسجل القيم اللحظية u_1 و u_2 إلخ المقابلة لكل زاوية على خط أفقي يناظر طوله محيط الدائرة ($d \cdot \pi = 360°$) .



١٧٦ - ١ يمكن توضيح التغير الجيبي لكمية مترددة بواسطة متجه دائر .



١٧٦ - ٢ وضع لحظي .



١٧٦-٣ تكوين موجة جيبية بواسطة متجه دائر قيمته û .

تبين المقارنة بين مخطط المتجهات والرسم البياني الموجي ميزة مخطط المتجهات بوضوح.

أ) التيار والجهد متوافقان في الطَّوْر.

ملاحظة : وضع المتجه اختياري (مرسوم عند الزمن t_1).

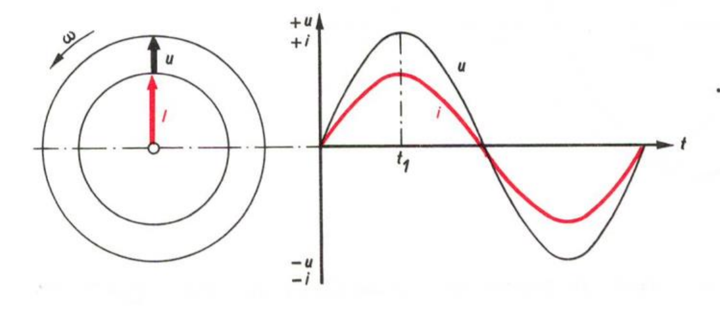
يرسم U بصفة عامة رأسيا. ولما كان الحساب يتم عادة بالقيمة الفعالة، فإن طول المتجه يختار مناظرا لذلك (شكل ١٧٧-١).

ب) يتأخر التيار المتردد I عن الجهد بمقدار 45° (شكل ١٧٧-٢). وتعطى إزاحة الطور كزاوية ويرمز لها بالرمز φ.

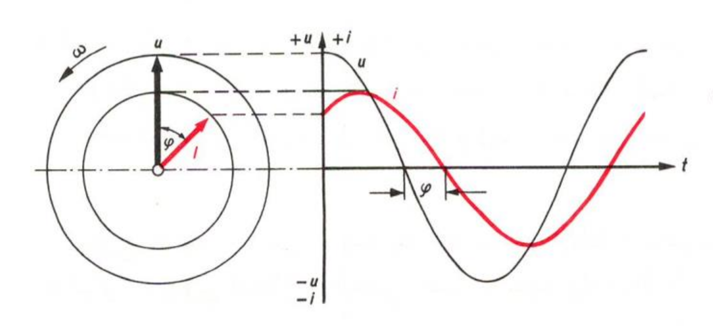
ج) يتقدم التيار المتردد I على الجهد U بمقدار 45° (شكل ١٧٨-١).

د) يراد جمع ذبذبتين جيبيتين بينهما إزاحة طورية لموجتا الجهد U_1 و U_2 مثلا (شكل ١٧٨-٢)، وفي الرسم الموجي يجمع U_1 و U_2 جمعا هندسيا، أي يحسب حاصل الجمع u_1+u_2 في كل لحظة (في اللحظة t_1 مثلا). أما في مخطط المتجهات فإننا نحصل على مقدار واتجاه المحصلة U فورا بتكوين متوازي الأضلاع للمتجهين U_1 و U_2 ووصل القطر. ويكفي أيضا رسم نصف متوازي الأضلاع، أي رسم المثلث بالأضلاع U_1 و U_2 و U.

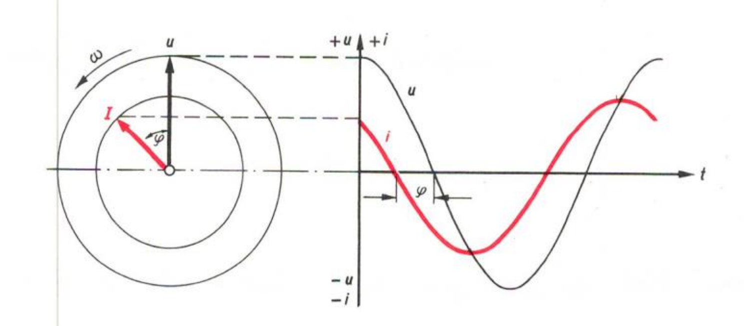
ملاحظة : طريقة مبسَّطة : لجمع عدة ذبذبات جيبية توضع متجهاتها واحدا تلو الآخر تبعا لمقدار واتجاه كل منها (الترتيب اختياري)، ويكون الخط الواصل من نقطة البداية إلى نقطة النهاية هو متجه المحصلة (شكل ١٧٨-٢).



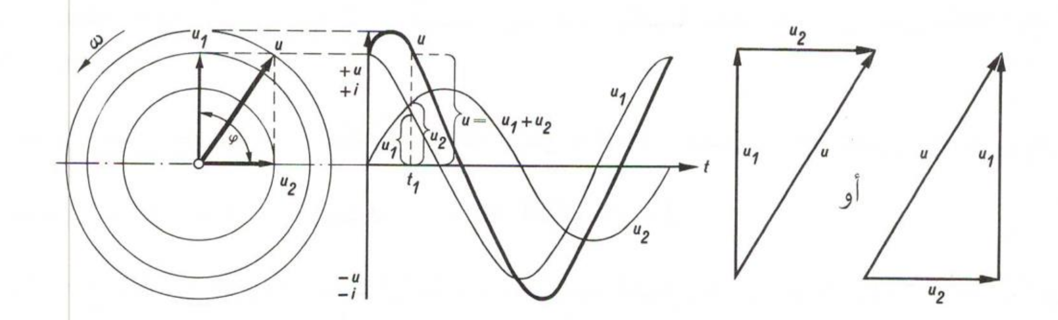
١٧٧ - ١ التيار والجهد متوافقان في الطور. إلى اليسار : مخطط المتجهات. ينطبق المتجهان U و I دائما. إلى اليمين : الرسم الموجي.



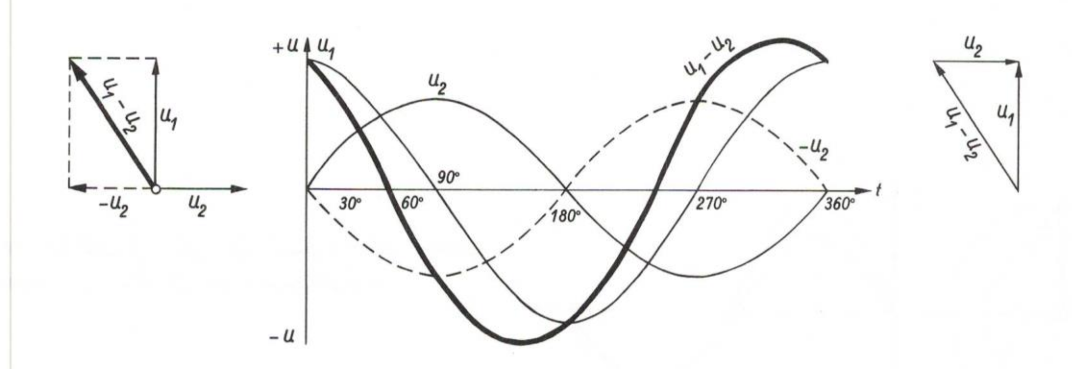
١٧٧ - ٢ U و I بينهما إزاحة طورية. يتأخر I عن U بمقدار φ=45° إلى اليسار : مخطط المتجهات. إلى اليمين : الرسم الموجي.



١٧٨ – ١ U و I بينهما إزاحة طورية . I يتقدم U بمقدار
$\varphi=45°$ إلى اليسـار : مخطط المتجهات . إلى
اليمين : الرسم الموجي .



١٧٨ – ٢ جمع موجتين جيبيتين بالرسم الهندسي .
إلى اليسـار : رسم المتجهات وفي الوسط : رسم الموجات .
إلى اليمين : تمثيل مبسط لرسم المتجهات . يمكن صف المتجهين U_1 و U_2 الواحد تلو الآخر بأي ترتيب .
إلى اليسـار : وضع U_2 و U_1 وإلى اليمين : وضع U_1 بعد U_2 .



١٧٨ – ٣ طرح موجتين جيبيتين . إلى اليسـار : رسم المتجهات وفي الوسط : رسم الموجات . وإلى اليمين : تمثيل مبسط .

هـ) يراد طـرح ذبذبة الجهد U_2 من ذبذبة الجهد U_1 ، على أسـاس كونهما ذبذبتين جيبيتين بينهما إزاحـة طورية (شكل ١٧٨–٣) . ترسم الصورة المعكوسة لذبذبة الجهد U_2 ، أي $(-U_2)$ في الرسم الموجي ويعطي حاصل الجمع الحسـابي للقيم اللحظية لكل من U_1 و $(-U_2)$ منحنى الجيب (U_1-U_2) .

يطرح المتجه U_2 من المتجه U_1 هندسيا في مخطط المتجهات وذلك برسم المتجه U_2 في اتجاه عكسي $(-U_2)$ وتركيبه مع U_1 ليكونا متوازي أضلاع ، فيعطي القطر المتجه (U_1-U_2) (= المحصلة) .

ملاحظة : طريقة مبسطة : تطرح ذبذبتان جيبيتان إحداهما من الأخرى بصف المتجهين إلى بعضهما البعض بحيث تبقى نقطتا البداية في كليهما حرة ، فيكون الخط الواصل بين نقطتي البداية هو الفرق بين المتجهين (شكل ١٧٨-٣) .

تمرينات

١ - ارسم كلا من مخطط المتجهات والرسم الموجي إذا تأخر التيار المتردد $I = 1,5\ A$ عن جهد المنبع $U = 220\ V$ بمقدار $1/6$ دورة . استخدم مقاييس الرسم $1\ mm \triangleq 5\ V$ و $1\ mm \triangleq 0,05\ A$ والدورة الواحدة $= 60\ mm$.

٢ - تياران مترددان $I_1 = 5\ A$ و $I_2 = 2,5\ A$ يوجد بينهما إزاحة طَوْرية مقدارها $45°$ عند تردد $f = 50\ Hz$. اجمع كلا التيارين بواسطة مخطط المتجهات والرسم الموجي بحيث يتأخر التيار I_2 عن التيار I_1 . ما هي القيمة العظمى للتيار الـكلي؟

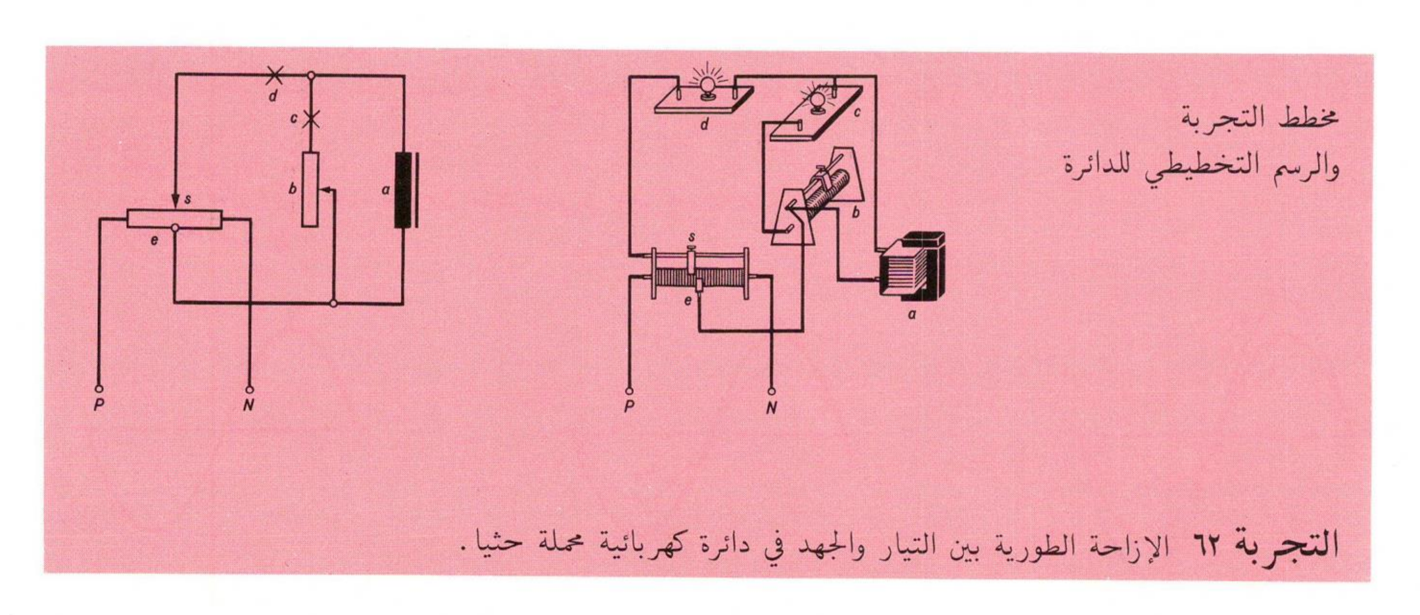
٣ - جهدان مترددان $U_1 = 220\ V$ و $U_2 = 50\ V$ يوجد بينهما إزاحة طورية قدرها $60°$ عند تردد $f = 50\ Hz$. اطرح أحد الجهدين من الآخر بواسطة مخطط المتجهات والرسم الموجي بحيث : أ) يتأخر U_1 عن U_2 ب) يتأخر U_2 عن U_1 . ما هي القيمة العظمى للفرق بين الجهدين في كلتا الحالتين؟

٤ - اذكر الشروط اللازم توفرها لكي يمثل متجه دوّار ذبذبة جيبية .

١٠-٣ التحميل الحثي في الدائرة الـكهربائية

١٠-٣-١ الإزاحة الطورية للتحميل الحثي

إذا ما وجد ملف (ملف خانق ، ملف محول ، لفائف محرك ، إلخ) في دائرة تيار متردد فإن سلوكه يختلف إختلافا جديرا بالملاحظة عنه في دائرة تيار مستمر . والسبب في ذلك هو محاثة الملف (انظر صفحة ١٤٣) . ويشار للملفات التي تستخدم محاثاتها في الدوائر الـكهربائية بأسماء مختلفة مثل الملفات الخانقة وملفات دوائر الرنين وملفات دوائر التذبذب . وتسمى الملفات قليلة الفقد في التطبيق العملي أيضا بالمحاثات ، أي أن كلمة محاثة لها معنيان مثل كلمة مقاومة : ١ - كخاصية كهربائية ، ٢ - كعنصر في الدوائر الـكهربائية .



التجربة ٦٢ الإزاحة الطورية بين التيار والجهد في دائرة كهربائية محملة حثيا .

التجهيزات : a = ملف N=1200 وقلب فولاذي مقفل
b = مقاومة متغيرة (ريوستات) R=100 Ω
c = مصباح متوهج 3,5 V/0,2 A كمقياس للجهد
d = مصباح متوهج 3,5 V/0,2 A كمقياس للتيار
e = مقاومة متغيِّرة ذات تفرع من الوسط أو مبدِّل أقطاب ، منبع جهد مستمر 10 V

خطوات العمل : ١ - اضبط المقاومة b بحيث يضيء المصباحان بنفس الشدة
٢ - ينتج تيار متردد من خلال تحريك المنزلق S على المقاومة e ذهابا وإيابا . وفي حالة وجود مبدل أقطاب أدره ببطء ، وراقب المصباحين .
٣ - أبعد حافظة المغنطيس أولا ثم القلب الفولاذي للملف بعد ذلك وكرر التجربة .

المشاهدة : في الخطوة (٢) : يضيء المصباحان بنفس التردد ، إلا أن المصباح d الموصَّل كمقياس للتيار يضيء متأخرا عن المصباح c الموصل كمقياس للجهد .
في الخطوة (٣) : يقل التخلف (التعوُّق) الزمني للمصباح d بدون حافظة المغنطيس وتتوافق إضاءة المصباحين زمنيا إذا ما أبعد القلب الفولاذي أيضا .

النتيجة : يتأخر التيار عن الجهد في دائرة ذات حمل حثي . وتوجد بين التيار والجهد إزاحة في الزمن ، أي في الطور . وتكون محاثة الملف بدون القلب الفولاذي صغيرة للغاية ، ولذا فهي تسبب إزاحة طورية صغيرة يصعب اكتشافها بدون مرسمة التذبذبات .

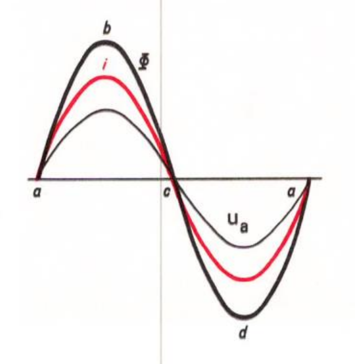
١٠-٣-٢ تأخُّر التيار المتردد المار في ملف ذي قلب حديدي عن الجهد

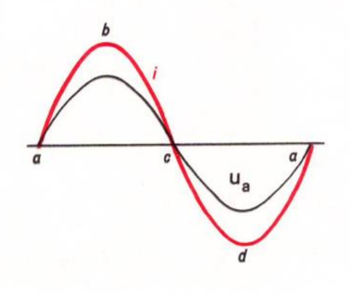
يبين شكل (١٨٠-١) التيار المتردد I الذي يمر في الملف . ولكي يمر تيار I خلال المقاومة الفعالة للملف يلزم طبقا لقانون أوم جهد فعال مقداره $U_a=I\cdot R$. وبحساب قيم الجهد المقابلة لقيم التيار المختلفة نحصل على منحنى الجهد المتردد U_a (شكل ١٨٠-٢) ، وهي متوافقة في الطور مع ذبذبة التيار . فإذا كان للملف مقاومة فعالة فقط فإن الجهد المتردد U_a يمثل كذلك جهد الأطراف ، إلا أن الملف يحتاج إلى قيمتين للجهد :

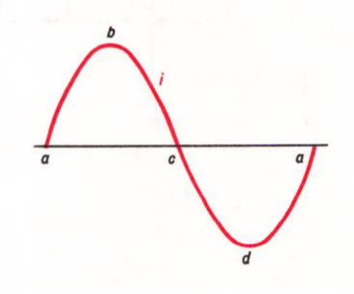
١ - جهد U_a للتغلب على المقاومة الفعالة ،
٢ - جهد يوازن جهد الحث الذاتي U_s الناتج من التدفق المغنطيسي المتردد Φ . وكما هو معلوم ، فإن قيمة جهد الحث الذاتي تتحدد من المعدل الزمني لتغير التدفق في الملف .

يتوافق التدفق المغنطيسي Φ الناتج عن التيار المتردد I طوريا مع موجة التيار I (شكل ١٨٠-٣) . ومن السهل ملاحظة أن منحنى التيار عند النقطة a يرتفع بشدة ، ويترتب على ذلك أن يكون تغير التدفق في الثانية كبيرا للغاية ،

١٨٠ - ١ منحنى جيبي لتيار متردد .
١٨٠ - ٢ يلزم جهد فعّال قدره $U_a=I\cdot R$ لدفع تيار متردد جيبي في ملف ما ، إذا ما أهمل الحث الذاتي .
١٨٠ - ٣ Φ متوافقة طوريا مع i .







أي أن Φ ترتفع أيضا بشدة. وكلما اقترب التيار من النقطة b قَلَّ معدل التزايد، ولذا ترتفع أيضا Φ بدرجة أقل حيث أن تغير التدفق في الثانية يكون أقل كذلك، وعند النقطة b يصل كل من I و Φ إلى أقصى قيمة. ويلاحظ أن تغيُّر Φ يتبع المنحنى الجيبي طالما لم يتم تعدي الفولاذ حد التشبع. ولرسم منحنى جهد الحث الذاتي U_s الناتج عن التدفق المغنطيسي المتردد Φ فإنه يجب التفكير كما يلي: تتوقف Φ عن التزايد عند النقطة b (شكل ١٨٠-٣) إلا أنها لم تبدأ بالنقصان بعد. وفي هذه اللحظة لا يحدث أي تغير في التدفق في الملف، أي أن جهد الحث الذاتي U_s عند اللحظة b يساوي صفرا. ويكون تغير التدفق أكبر ما يمكن عند النقطتين a و c حيث يصل U_s إلى قيمته العظمى. ويمكن تحديد اتجاه جهد الحث الذاتي طبقا لقانون لينز. ففي الفترة الزمنية من a إلى b يزداد التيار ولذا يتجه الجهد U_s في الاتجاه المضاد (يناظر عملية وصل الدائرة الكهربائية في التيار المستمر، تدوّن قيمة U_s إلى أسفل). وفي الوقت من b إلى c يقل التيار (يناظر فصل الدائرة الكهربائية في التيار المستمر)، ولذا يكون اتجاه U_s في نفس اتجاه التيار I. وتكون موجة جهد الحث الذاتي الناتجة مزاحة بمقدار ربع دورة عن موجة التيار I، وهي تتأخر عن التيار I لأنها تمر بالصفر متأخرة عن موجة التيار (شكل ١٨١-١).

وكما ذكر في صفحة (١٨٠) فإنه يجب أن يقوم جزء من جهد المنبع الواقع على أطراف التوصيل بموازنة جهد الحث الذاتي U_s. ولذلك يجب أن يكون الجهد U_r الذي يعادل جهد الحث الذاتي U_s واقعا في اتجاه عكسي، أي أنه يكون صورة معكوسة للجهد U_s (شكل ١٨١-٢). ويسمى U_r بجهد المفاعلة. وكما هو معلوم من قبل، فإنه نظرا لأن جهد المنبع (الجهد الكلي) الموصل على الملف:

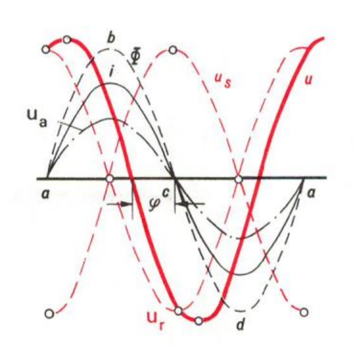
١ - يدفع التيار I خلال مقاومة الملف الأومية (مقاومة فعالة).

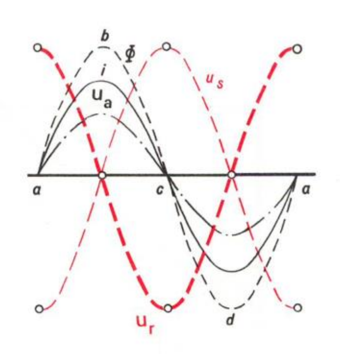
٢ - يحافظ أيضا على التوازن مع جهد الحث الذاتي U_s، فإننا نحصل على الجهد بجمع الموجة U_a والموجة U_r (شكل ١٨١-٣).

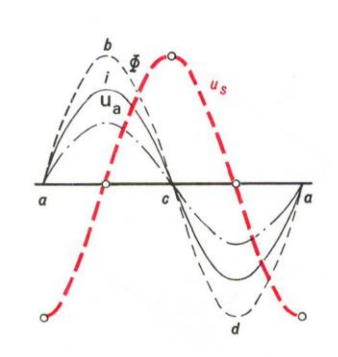
النتيجة النهائية:

عند توصيل ملف بجهد متردد، فإن موجة التيار I وموجة الجهد الكلي U لا تتوافقان في الطور ويتأخر التيار في الملف عن الجهد نتيجة لذلك. ويعبر عن مقدار الإزاحة الطورية بالزاوية φ (حرف يوناني ينطق فاي phi).

١٨١ - ١ U_r مزاح عن I بمقدار ربع موجة.
١٨١ - ٢ U_r في عكس اتجاه U_s.
١٨١ - ٣ جهد الأطراف لملف ذي محاثة ويمر فيه تيار متردد.







لأي حد يمكن أن يصل مقدار الإزاحة الطورية؟

الحالة الحدية الأولى : ملف مكون من بضع لفات من سلك ثخين يمكن إهمال مقاومته الفعالة، وبذلك يتلاشى الجهد U_a (شكل ١٨١-١) ويتولى الجهد الكلي U المحافظة على التوازن مع جهد الحث الذاتي U_s فقط. فيكون الجهد الكلي لملف بدون مقاومة فعالة مساويا لجهد الحث الذاتي وتبلغ الإزاحة الطورية قيمتها العظمى وهي 90°. ومن الوجهة العملية فإن ملفا بدون مقاومة فعالة شيء لا يمكن تحقيقه، إلا أن الملفات الخانقة المستخدمة في الأعمال الهندسية لها مقاومة فعالة ضئيلة جدا.

الحالة الحدية الثانية : ملف له مقاومة فعالة فقط، أي بدون حث ذاتي. وبذلك ينعدم جهد الحث الذاتي ويبقى الجهد U_a فقط الذي يقابل الجهد الكلي U (شكل ١٨٠-٣). وتكون الإزاحة الطورية في هذه الحالة صفراً $(\varphi=0)$، فيتوافق الجهد مع التيار في الطور.

١٠-٣-٣ وظيفتا الجهد الكلي U للملف

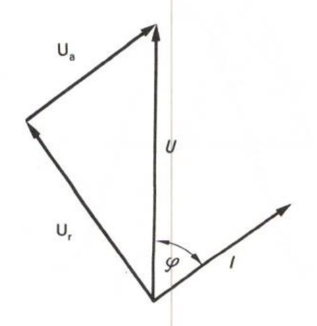
المطلوب رسم مخطط المتجهات للشكل (١٨١-٣). يظهر في هذه الحالة مدى سهولة ووضوح مخطط المتجهات.

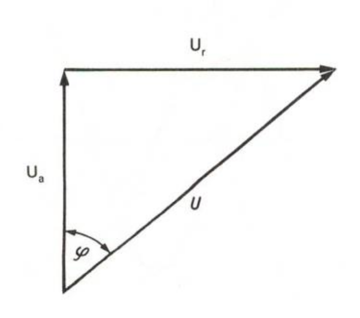
شكل (١٨١-١) : يتوافق كل من التيار I والجزء الفعال من الجهد U_a والمجال المغنطيسي Φ في الطور. وتبعا للرسم البياني الموجي (شكل ١٨١-٣) ترسم المتجهات الثلاثة بمقياس رسم مناسب على محور الإسناد الأفقي. ولما كان جهد الحث الذاتي U_s يتأخر عن الجهد الفعال U_a بمقدار 90° فإن موجته تبدأ من أسفل. ولكي يتسنى للجزء المكون لجهد المفاعلة U_r من الجهد الكلي، معادلة الجهد U_s، فإنه يرسم إلى أعلى. وبذلك يتقدم U_r عن U_a بمقدار 90°.

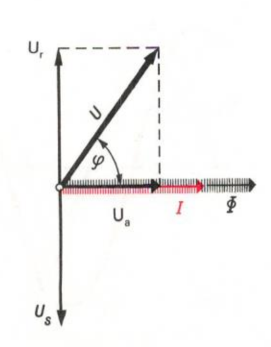
ملاحظة : يمكن الحصول على الجهد الكلي للملف U مقدارا واتجاها (شكل ١٨٢-١ و ١٨٢-٢) بجمع U_a مع U_r هندسيا (بالمتجهات).

ينقسم الجهد الكلي U إلى الجزء الفعال للجهد $U_a=I\cdot R$ الضروري للتغلب على المقاومة الفعالة للملف R، والجزء المفاعل للجهد U_r المتقدم بزاوية 90° والذي يحفظ التوازن مع جهد الحث الذاتي U_s (شكل ١٨٢-٣).

١٨٢ - ١ مخطط المتجهات لشكل ١٨١ - ٣
١٨٢ - ٢ مخطط المتجهات المبسط = مثلث تمثيل الجهود.
١٨٢ - ٣ ينقسم الجهد الكلي إلى جزء فعال وجزء مفاعل. الجهد المفاعل مزاح عن التيار طوريا حيث يسبقه بزاوية قدرها 90°، والجهد الفعال متوافق طوريا مع التيار.







١٠-٣-٤ حساب جهد الأطراف والجهود الفرعية (الجزئية)

يؤخذ مثلث الجهود (شكل ١٨٢-٢) كأساس .

طبقا لنظرية فيثاغوراس		بواسطة الدوال المثلثية
الجهد الكلي :	$U = \sqrt{U_a^2 + U_r^2}$	$\cos\varphi = \frac{U_a}{U};\ U_a = U \cdot \cos\varphi;\ U = \frac{U_a}{\cos\varphi}$
الجهد الفعال :	$U_a = \sqrt{U^2 - U_r^2}$	
الجهد المفاعل :	$U_r = \sqrt{U^2 - U_a^2}$	$\sin\varphi = \frac{U_r}{U};\ U_r = U \cdot \sin\varphi;\ U = \frac{U_r}{\sin\varphi}$

مثال : يمر تيار شدته 2 A في ملف خانق عند توصيله على جهد مستمر قدره 5 V ، ويصل التيار لنفس القيمة عند جهد متردد قدره 50 V . ما مقدار الجهد الحثي المفاعل وزاوية الإزاحة الطورية الناتجة؟ حل التمرين حسابيا وبالرسم .

المعطيات : $U_a = 5\ V;\ U\sim = 50\ V$

المطلوب : حساب الجهد الحثي المفاعل U_r بالڤولط وزاوية الإزاحة الطورية (φ) .

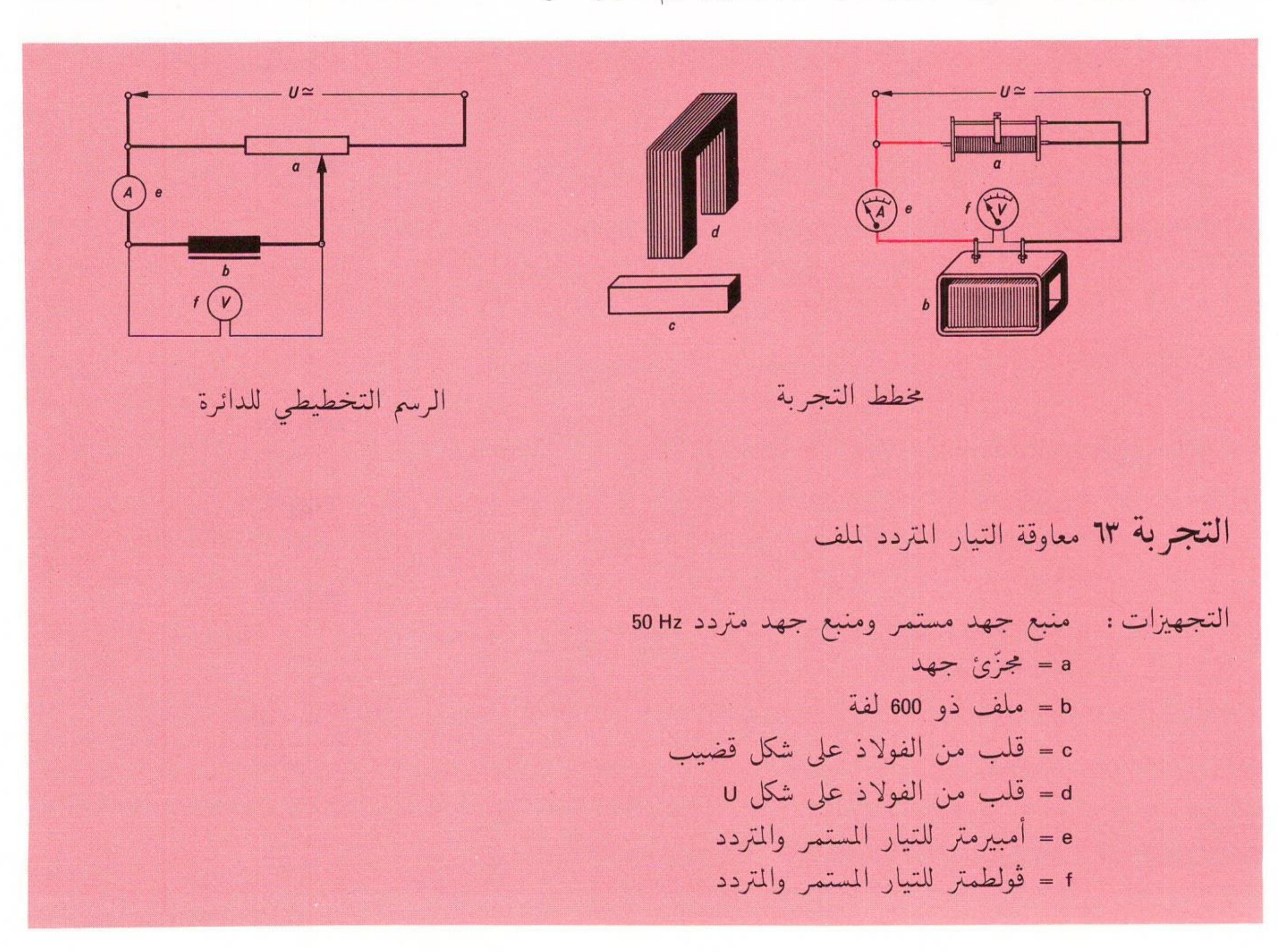
الحل : $U_r = \sqrt{U^2 - U_a^2} = \sqrt{(50\ V)^2 - (5\ V)^2} = 49{,}7\ V$

$$\cos\varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{5\ V}{50\ V} = 0{,}1$$

φ من الجدول $84°10'$

١٠-٣-٥ التيار المتردد ومعاوقة التيار المتردد لملف

يكون حساب قيمة معاوقة التيار المتردد (Z) بقانون أوم للتيار المتردد .



الرسم التخطيطي للدائرة

مخطط التجربة

التجربة ٦٣ معاوقة التيار المتردد لملف

التجهيزات : منبع جهد مستمر ومنبع جهد متردد 50 Hz
a = مجزّئ جهد
b = ملف ذو 600 لفة
c = قلب من الفولاذ على شكل قضيب
d = قلب من الفولاذ على شكل U
e = أمبيرمتر للتيار المستمر والمتردد
f = ڤولطمتر للتيار المستمر والمتردد

خطوات العمل: ١ - صل جهداً مستمرا 5V على الملف واقرأ الأمبيرمتر واحسب المقاومة طبقا لقانون أوم.
٢ - ضع القلوب الفولاذية الثلاثة (قلب على شكل قضيب والثاني على شكل حرف U والثالث مقفل) الواحد تلو الآخر في داخل الملف واحسب المقاومة.
٣ - صل جهداً مترددا 5V على الملف، ثم أجر العمل كما في الخطوتين (١) و (٢).
٤ - إضبط التيار المتردد في جميع القياسات على شدة تيار 2A.
إقرأ الجهد اللازم للملف واحسب المعاوقة Z.

المشاهدة للخطوتين (١) و (٢):

قلب الملف	U– (V)	I (A)	R (Ω)
قضيب	5	2	2,5
قضيب	5	2	2,5
حرف U	5	2	2,5
مقفل	5	2	2,5

نتيجة الخطوتين (١) و (٢):

تظل مقاومة التيار المستمر (المقاومة الفعالة) للملف ثابتة. لا يغير إدخال قلب فولاذي قيمة التيار.

المشاهدة للخطوة (٣):

قلب الملف	U ~ (V)	I (A)	Z (Ω)
بدون قلب	5	1,5	3,33
قضيب	5	0,35	14,28
حرف U	5	0,23	21,73
مقفل	5	0,024	208,33

نتيجة الخطوة (٣):

تختلف قيمة المقاومة الظاهرية للملف حسب تركيبه. تزداد قيمة المجال المغنطيسي ومحاثة الملف بإدخال قلب فولاذي. كلما زادت المحاثة قلّت شدة التيار.

المشاهدة للخطوة (٤):

قلب الملف	I (A)	U ~ (V)	Z (Ω)
بدون قلب	2	24	12
قضيب	2	35	17,5
حرف U	2	50	25
مقفل	2	180	90

نتيجة الخطوة (٤):

لكي يمر تيار متردد شدته I=2A خلال ملف ما نجد أن مقدار الجهد اللازم يتوقف على تركيب الملف، فكلما زادت المحاثة زاد الجهد المطلوب.

مثال : احسب الجهد الفعال والجهد المفاعل لملف خانق موصَّل على جهد متردد قدره 220 V ويعطي إزاحة طَوْرية بين التيار والجهد قدرها $\varphi = 50^\circ$.

المعطيات : $U = 220\ V;\ \varphi = 50^\circ;\ \cos\varphi = 0,64$

المطلوب : حساب كل من الجهد الفعال (U_a) والجهد المفاعل (U_r) بوحدة (V) .

الحل :

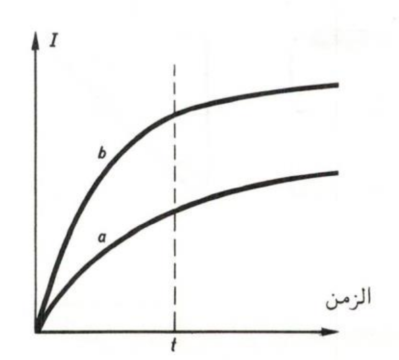
$$U_a = U \cdot \cos\varphi = 220\ V \cdot 0,64 = 141\ V$$

$$U_r = \sqrt{U^2 - U_a{}^2} = \sqrt{(220\ V)^2 - (141\ V)^2} = 169\ V$$

١٠-٣-٦ نقصان التيار المتردد المار في ملف ما عند ازدياد محاثته وارتفاع التردد

بينما يظهر تأثير الحث الذاتي لملف ما في التيار المستمر عند توصيل أو قطع الدائرة الكهربائية فقط (انظر صفحة ١٤٥) ، فإن تأثيره يظهر دائما في التيار المتردد ، حيث أن التيار المتردد يغير قيمته واتجاهه في كل لحظة (يناظر ذلك وصل وفصل الدائرة ذاتيا) . ويظهر تأثير الحث الذاتي في ملف ما متصل بجهد مستمر ، كما ذكرنا ، بحيث يتكون جهد ذاتي عند توصيل الدائرة الكهربائية يعاكس تأثير جهد المنبع مما يجعل ازدياد التيار تدريجيا . وإذا وصل جهد متردد ذو تردد $f = 50\ Hz$ على الملف ، فإن الجهد يرتفع من الصفر إلى قيمته العظمى (يناظر ذلك وصل الدائرة الكهربائية في التيار المستمر) في وقت قصير قدره 0,005 s . إلا أنه لا يمكن أن يزداد التيار إلى قيمته العظمى $\frac{U}{R}$ في ذلك الوقت القصير ، ولذا فإن التيار المتردد المار يكون أقل كثيرا من التيار المستمر لنفس قيمة الجهد .

ويوضح شكل (١٨٥-١) ازدياد التيار في محاثات مختلفة كبيرة ، حيث يوضِّح المنحنى a أن التيار في المحاثة الكبيرة (كمية كبيرة من الفولاذ في الملف وعدد كبير من اللفات) يكون أصغر منه في المحاثة الأصغر (منحنى b) . وإذا ما أخذنا في الاعتبار أن الزمن المتاح لازدياد التيار للجهود ذات الترددات الأعلى يكون أصغر (عند التردد $f = 5\ kHz$ مثلا يكون هذا الزمن 0,00005 s فقط) ، فإنه يتعذر على التيار عالي التردد المرور في ملف ذي محاثة كبيرة . وبناء على ذلك فإنه بزيادة التردد والمحاثة نجد أن مقاومة الملف الظاهرية ترتفع وبذلك يخنق التيار (ملف خانق) .



١٨٥ - ١ تزايد التيار مع الزمن (منحنى تزايد التيار المستمر عند وصل الدائرة الكهربائية) ، a= ملف ذو محاثة كبيرة . b= ملف ذو محاثة صغيرة .

١٠-٣-٧ المقاومات الفعالة والمفاعلة للتيار المتردد

طبقا للتجربة (٦٣) فإن الأمر يختلف إذا ما وصِّل جهد مستمر أو جهد متردد على طرفي الملف، حيث أننا نجد ظاهريا أن قيمة مقاومة الملف قد زادت في حالة التيار المتردد. ويطلق على القيمة العالية الجديدة للمقاومة اسم المعاوقة (المقاومة الظاهرية) Z* أو مقاومة التيار المتردد. ويمكن الحصول على قيمتها بقسمة القيمة الفعالة للجهد على القيمة الفعالة للتيار $(Z=U\div I)$. إذاً فالقيمة العالية للمقاومة هي القيمة المتاحة حقيقة في حالة التيار المتردد.

وعلى ذلك فإنه ليس على الجهد المتردد التغلب على المقاومة الفعالة R للملف فقط، وإنما أيضا التغلب على مقاومة أخرى تحدد بواسطة الحث الذاتي للملف. وتسمى هذه المقاومة بالمفاعلة الحثية X_L. ويمكن تصور أن المعاوقة Z التي تعطي إزاحة طَوْرية معيَّنة في دائرة التيار المتردد منقسمة إلى مقاومة فعالة R ومقاومة مفاعلة X_L (شكل ١٨٦-١).

ومن خلال هذا التقسيم يصبح حل مسائل التيار المتردد أكثر سهولة ووضوحا.

١٠-٣-٨ حساب قيم المقاومات

تعتمد المقاومة الحثية المفاعِلة لملف ما X_L على خصائص الحث الذاتي (المحاثة L) للملف (انظر صفحة ١٤٣) وعلى التردُّد الزاوي ω (تنطق أوميغا Omega) حيث $\omega=2\cdot\pi\cdot f$.

$$X_L=2\,\pi\cdot f\cdot L \qquad\qquad X_L=\omega\cdot L$$

مثال: احسب التيار المار في ملف ذي مقاومة فعالة ضئيلة القيمة ومحاثة L=0,25 H إذا وصل على جهد قدره 380 V في الحالتين:
أ) بالتردد $f_1=50$ Hz، ب) بالتردد $f_2=500$ Hz

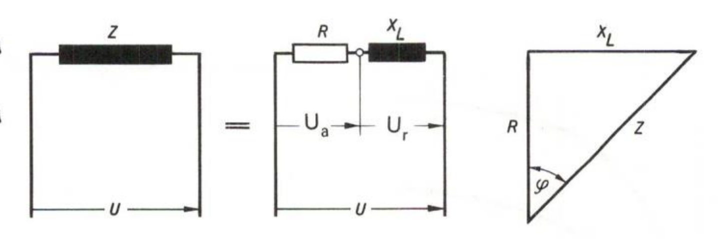
المعطيات: $f_2=500$ Hz; $f_1=50$Hz; U=380 V; L=0,25 H

المطلوب: حساب المقاومة المفاعلة الحثية (X_L) بوحدة (Ω) وشدة التيار (I) بوحدة (A).

الحل: (أ) $X_L=2\,\pi\cdot f\cdot L=6{,}28\cdot 50\,s^{-1}\cdot 0{,}25\,\Omega\cdot s=78{,}5\,\Omega;\; I=\frac{U}{X_L}=\frac{380\,V}{78{,}5\,\Omega}=4{,}84\,A$

(ب) $X_L=6{,}28\cdot 500 s^{-1}\cdot 0{,}25\,\Omega\cdot s=785\,\Omega;\quad I=\frac{U}{X_L}=\frac{380\,V}{785\,\Omega}=0{,}48\,A$

ويمكن الحصول على مقاومات التيار المتردد حسابيا وبالرسم بجمع كل من المقاومة الفعالة والمفاعلة هندسيا. ونعتبر في هذه الحالة أنه يجب على جهد المنبع أن يدفع تيارا في كل من المقاومة الفعالة والمفاعلة. ويمكن الحصول على مثلث المعاوقة (شكل ١٨٦-٢) على نمط مثلث الجهود.



١٨٦-١ تعطي الأجزاء الفعالة والمفاعلة من U و Z القيم الكلية بجمعها هندسيا (+).

١٨٦-٢ مثلث المعاوقة. يكوَّن رسم الأضلاع بدون رؤوس أسهم نظرا لأنه لا يمثل مخطط متجهات حيث أن المقاومات ليست كميات متجهة.

---

*) تسمى بالمقاومة المركبة Complex resistance

١٠-٣-٩ ضرورة استخدام قانون أوم للتيار المتردد في حالة وجود إزاحة طورية بين التيار والجهد

طبقا لنظرية فيثاغوراس		بواسطة الدوال المثلثية	
مقاومة التيار المتردد :	$Z=\sqrt{R^2+X_L^2}$	$Z=\frac{X_L}{\sin\varphi}$	$Z=\frac{R}{\cos\varphi}$
المقاومة الفعالة :	$R=\sqrt{Z^2-X_L^2}$	$X_L=Z\cdot\sin\varphi$	$R=Z\cdot\cos\varphi$
المفاعلة :	$X_L=\sqrt{Z^2-R^2}$		$\cos\varphi=\frac{R}{Z}$

بضرب المقاومات في التيار المار فعلا ينتج أن :

الجهد الكلي $U=I\cdot Z$

الجزء الفعال من الجهد $U_a=I\cdot R$

الجزء المفاعل من الجهد $U_L=I\cdot X_L$

$$I=\frac{U}{Z}$$

$$I=\frac{U}{\sqrt{R^2+X_L^2}}$$ قانون أوم للتيار المتردد

مثال ١ : احسب المعاوقة (مقاومة التيار المتردد) لملف خانق إذا كانت قراءة الأمبيرمتر 4A وجهد الأطراف 220 V .

المعطيات : $U=220\ V;\ I=4\ A$

المطلوب : حساب المعاوقة (Z) بوحدة (Ω) .

الحل : $Z=\frac{U}{I}=\frac{220\ V}{4\ A}=55\ \Omega$

مثال ٢ : احسب المعاوقة (مقاومة التيار المتردد) لملف مقاومته الفعالة $R=10\ \Omega$ ومقاومته المفاعلة $X_L=25\ \Omega$؟ يحل هذا التمرين بالرسم أيضا .

المعطيات : $R=10\ \Omega;\ X_L=25\ \Omega$

المطلوب : حساب المعاوقة (Z) بوحدة (Ω) .

الحل : أ) $Z=\sqrt{R^2+X_L^2}$

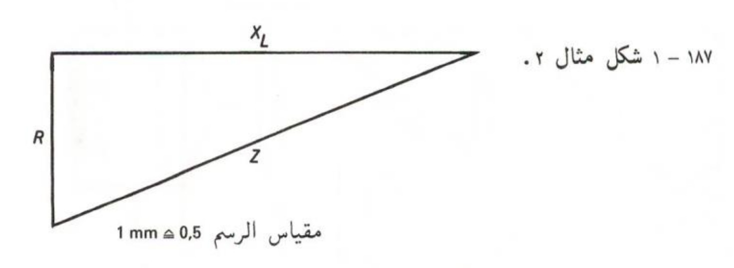
$=\sqrt{(10\ \Omega)^2+(25\ \Omega)^2}=26{,}9\ \Omega$

ب) شكل ١٨٧-١

مثال ٣ : ملف خانق ذو مقاومة فعالة 2,5 Ω ومحاثة L=0,1 H .
احسب X_L و Z و I و U_L و U_a و φ ، إذا كانت قيمة جهد المنبع 220 V وتردده f=50 Hz .

المعطيات : $R=2{,}5\ \Omega;\ L=0{,}1\ H;\ U=220\ V;\ f=50\ Hz$

المطلوب : حساب كل من : X_L (Ω) و Z (Ω) و I (A) و U_L (V) و U_a (V) و φ .



١٨٧ - ١ شكل مثال ٢ .

الحل :
$$X_L = 2\cdot\pi\cdot f\cdot L = 2\cdot 3{,}14\cdot 50\cdot s^{-1}\cdot 0{,}1\ \Omega\cdot s = 31{,}4\ \Omega$$
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(2{,}5\ \Omega)^2 + (31{,}4\ \Omega)^2} = 31{,}5\ \Omega$$
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220\ V}{31{,}5\ \Omega} = 6{,}98\ A$$
$$U_L = I\cdot X_L = 6{,}98\ A\cdot 31{,}4\ \Omega = 219{,}17\ V$$
$$U_a = I\cdot R = 6{,}98\ A\cdot 2{,}5\ \Omega = 17{,}45\ V$$
$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{2{,}5\ \Omega}{31{,}5\ \Omega} = 0{,}079$$
ومن الجدول نستنتج أن $\varphi = 85°20'$

١٠-٣-١٠ التيار الكلي والتيار الفعال والتيار المفاعل

إن تحليل التيار الكلي المار فعلا في ملف خانق والمتأخر عن جهد المنبع بزاوية φ إلى تيار فعال I_a وتيار مفاعل I_r يؤدي إلى سهولة الحساب في كثير من الأحيان (شكل ١٨٨-٢) .

وما ينطبق على التيار في ملف خانق يمكن تطبيقه على كل تيار ذي إزاحة طورية . فالمحرك الذي يعمل بالتيار المتردد ، على سبيل المثال ، يحتاج إلى تيار فعال ليتمكن من بذل الشغل الضروري على عمود الإدارة . بينما يقوم التيار المفاعل برفع وخفض قيمة المجال المغنطيسي المتردد كما في الملف الخانق ، والتياران الفعال (I_a) والمفاعل (I_r) يسريان سويا في موصل المحرك ويكونان معا التيار الكلي I ، وهو التيار الوحيد الذي يمكن قياسه . ولما كان التيار الفعال (I_a) يتوافق في الطور مع الجهد ، والتيار المفاعل (I_r) يتأخر عنه بمقدار 90° ، فإنه يجب أن تكون للتيار الكلي I إزاحة طورية تقع بين صفر و 90° . ولا يعطي قدرة فعالة سوى التيار الفعال مع الجهد U المسبِّب له . أما حاصل ضرب التيار المفاعل في U فلا يعطي أية قدرة فعالة ، أي أنه غير مؤثر ، أي «مفاعل» . وينتج التيار الكلي حسابيا أو بالرسم بجمع التيار المفاعل مع التيار الفعال هندسيا . ويمكن الحصول أيضا على مثلث للتيارات (شكل ١٨٨-٢) على نمط مثلث الجهود ومثلث المعاوقة .

طبقا لنظرية فيثاغوراس		بواسطة الدوال المثلثية	
التيار الكلي :	$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$	$I = \frac{I_r}{\sin\varphi}$	$I = \frac{I_a}{\cos\varphi}$
التيار الفعال :	$I_a = \sqrt{I^2 - I_r^2}$	$I_r = I\cdot\sin\varphi$	$I_a = I\cdot\cos\varphi$
التيار المفاعل :	$I_r = \sqrt{I^2 - I_a^2}$		$\cos\varphi = \frac{I_a}{I}$

مثال : ملف ذو مقاومة فعالة مقدارها 1 Ω ومحاثة قدرها 0,08 H وصِّل على جهد متردد قدره 220 V و 50 Hz .
احسب قيمة كل من X_L و Z و I و I_a و φ

المعطيات : $R = 1\ \Omega;\ L = 0{,}08\ H;\ U = 220\ V;\ f = 50\ Hz$

المطلوب : حساب قيمة كل من : X_L (Ω) و Z (Ω) و I (A) و I_a (A) و I_r (A) و φ

١٨٨ - ١ يمكن تصور تقسيم التيار الكلي I إلى جزئين هما التيار الفعال والتيار المفاعل كما لو كانت المواصلة الكلية منقسمة إلى جزء مفاعل وآخر فعال . تكون كل من المواصلة الكلية والمفاعلة والفعالة كذلك مثلثا قائم الزاوية .

١٨٨ - ٢ مثلث التيار .

الحل :

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot s^{-1} \cdot 0{,}08\ \Omega \cdot s = 25{,}12\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(1\ \Omega)^2 + (25{,}12\ \Omega)^2} \approx 25{,}13\ \Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220\ V}{25{,}13\ \Omega} = 8{,}7\ A$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{1\ \Omega}{25{,}13\ \Omega} = 0{,}0398$$

ومن الجدول نستنتج أن $\varphi \approx 87° 45'$

$$I_a = I \cdot \cos\varphi = 8{,}7\ A \cdot 0{,}0398 = 0{,}346\ A$$

$$I_r = I \cdot \sin\varphi = 8{,}7\ A \cdot 0{,}999 = 8{,}69\ A$$

تمرينات

١ – قارن بين النتائج في المثال بصفحة (١٨٦) واذكر أهم ما يمكن استنباطه من معلومات.

٢ – لماذا توصف المقاومة الاومية في دوائر التيار المتردد بأنها مقاومة فعالة أيضا.

٣ – أوضح لماذا لا يمكن للإزاحة الطورية بين التيار والجهد أن تبلغ 90° إذا كان في الدائرة الكهربائية ملف خانق.

٤ – اذكر العوامل التي تتوقف عليها شدة التيار المتردد لملف ما.

٥ – احسب المفاعلة لملف خانق محاثته $L = 0{,}85\ H$ متصل بمنبع تردده 50 Hz.

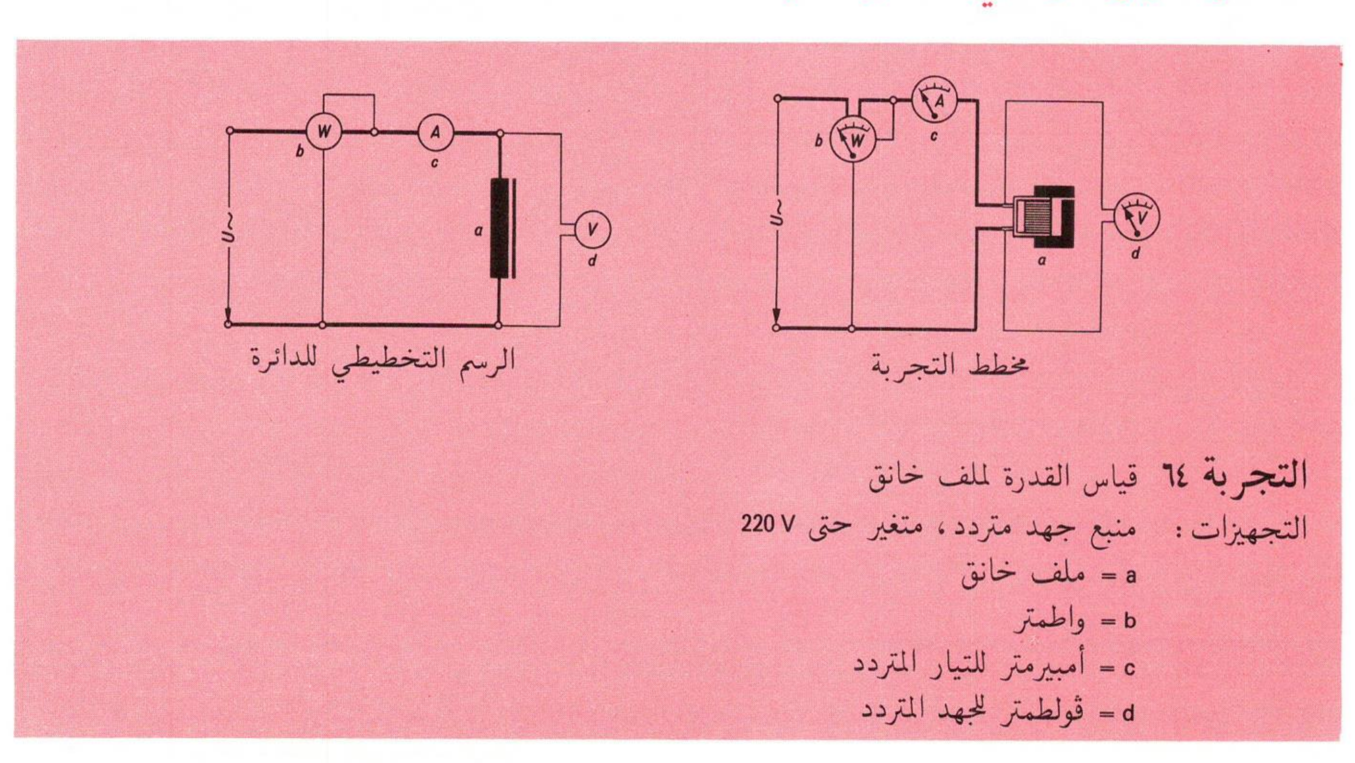
٦ – اذكر الإجراءات اللازمة لإمكان تقليل التيار المفاعل لملف خانق.

٧ – ما مقدار زاوية الطور إذا وصل التيار إلى قيمته العظمى متأخرا عن الجهد بمقدار 1/10 دورة وما هو الوقت المستغرق إذا كان $f = 100\ Hz$؟

٨ – هل يمكن توصيل ملف خانق خاص بتيار متردد جهده 220 V على تيار مستمر بنفس الجهد بدون أضرار؟

٩ – احسب مفاعلة ملف محاثته 0,2 H عند الترددات $f = 50\ Hz ... 500\ Hz$ (ابدأ من 50 Hz على خطوات كل منها 50 Hz) ثم ارسم المنحنى X_L كدالة للتردد f.

١٠–٤ قدرة التيار المتردد في الأحمال الحثية



الرسم التخطيطي للدائرة

مخطط التجربة

التجربة ٦٤ قياس القدرة لملف خانق

التجهيزات : منبع جهد متردد، متغير حتى 220 V

a = ملف خانق

b = واطمتر

c = أمبيرمتر للتيار المتردد

d = ڤولطمتر للجهد المتردد

خطوات العمل : ١ - قم بعمل توصيلات الدائرة
٢ - إضبط الجهد حتى يصل إلى قيم تسهل قراءتها
٣ - خذ قراءات أجهزة القياس وسجل القيم في جدول
٤ - اوجد حاصل ضرب U·I

القراءات :

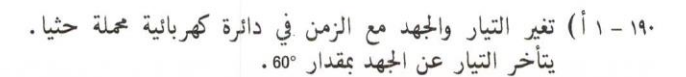
U	I	P	U·I
100 V	2 A	100 W	200 VA

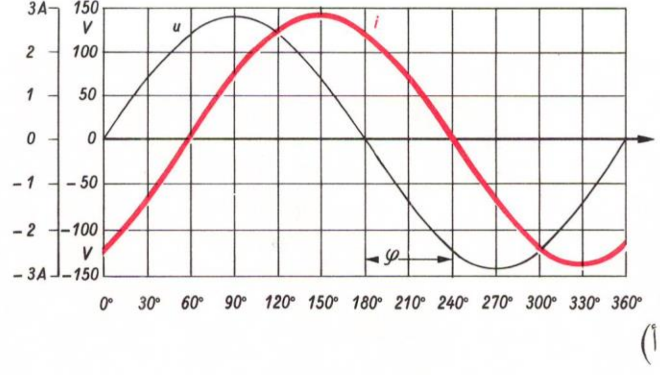
النتيجة : يعطي حاصل الضرب U·I قيمة مختلفة عن قراءات الواطمتر ، خلافا لحالة المقاومة الفعالة .

١٠-٤-١ تغير القدرة مع الزمن

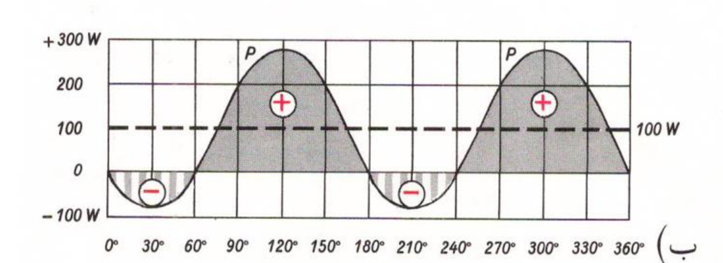
يتم تقييم التجربة (٦٤) بواسطة القيم المقاسة واستخدام مخطط المتجهات مرة والرسم الموجي مرة أخرى . يوضح شكل (١٩٠-١أ) موجتي التيار والجهد لملف خانق ذي مقاومة فعالة ومفاعلة ، حيث الملف موصل على منبع جهد قدره $U=100\ V$ (القيمة العظمى $\hat{U}=141\ V$) ويسحب تيارا شدته $2\ A$ (القيمة العظمى $\hat{I}=2{,}82\ A$) ويتأخر I بزاوية $\varphi=60°$.

ملاحظة : يمكن الحصول على قيمة القدرة عند كل لحظة بغض النظر عن مسلك التغير مع الزمن ، بضرب القيم الآنية (اللحظية) المتناظرة لكل من i أو u في بعضهما البعض . فإذا سجلت القيم الناتجة نحصل على منحنى القدرة (شكل ١٩٠-١ ب) .


١٩٠ - ١ أ) تغير التيار والجهد مع الزمن في دائرة كهربائية محملة حثيا .
يتأخر التيار عن الجهد بمقدار 60° .



أ)



ب)

ب) تغير القدرة مع الزمن بالنسبة لشكل ١٩٠ - ١ أ) .
نحصل على القيمة اللحظية للقدرة بضرب u و i الموجودة في اللحظة نفسها . ويجب مراعاة القواعد الرياضية الآتية : إذا كان للتيار والجهد نفس الاتجاه توقع (تدوّن) قيمة حاصل الضرب في الجزء الأعلى ، أما إذا كانا مختلفين في الاتجاه فتوقع في الجزء الأسفل . تكبر المساحات السالبة كلما زادت الإزاحة الطورية بين U و I . وتتساوى المساحات الموجبة والسالبة عندما تكون الإزاحة الطورية 90° . يكون منحنى القدرة منحنى جيبي بضعف التردد .

١٠-٤-٢ القدرة الظاهرية والتيار الـكلي

لا يظل منحنى القـدرة (شـكل ١٩٠-١ب) واقعـا في الجزء الموجب فقـط، كما في التحميل الفعـال الخـالص (شكل ١٧٤-٢)، ولـكنه يحتوي أيضـا على قيم سـالبة. ويعاد هذا الجزء السـالب من القدرة بواسطة الملف الخانق إلى المنبع ثانية، بحيث يصبح جزءاً فقط من القدرة فعالا (جزء القدرة الفعال). وإذا ضرب الجهد الـكلي في التيار الـكلي المـار فعلا في سلك الملف (الذي يبينه الأمبيرمتر) فإننا نحصل على القدرة التي تبدو ظاهريا كأنها متاحة للإستخدام، والتي نسميها بالقدرة الظاهرية (S).

$$S = U \cdot I$$

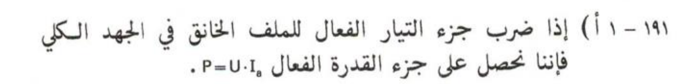
ولتجنب الإلتباس فإن القدرة الظاهرية لا تعطى بالواط وإنما بالڤولط أمبير (VA) أو بالـكيلو ڤولط أمبير (kVA). وفي التجربة (٦٤) تكون: $S = U \cdot I = 100\ V \cdot 2\ A = 200\ VA$.

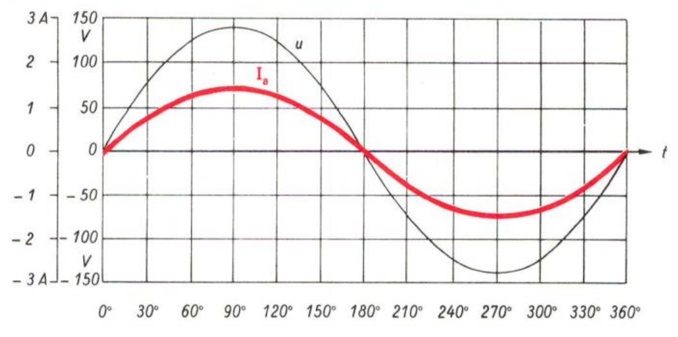
ملاحظة: القدرة الظاهرية ليست موجودة في الحقيقة: إلا أن قيمتها الحسـابية تلعب دورا كبيرا في التطبيق العملي. وتُصمَّم المحولات مثلا تبعا لقدرتها الظاهرية.

١٠-٤-٣ القدرة الفعالة والتيار الفعال (شكل ١٩١-١)

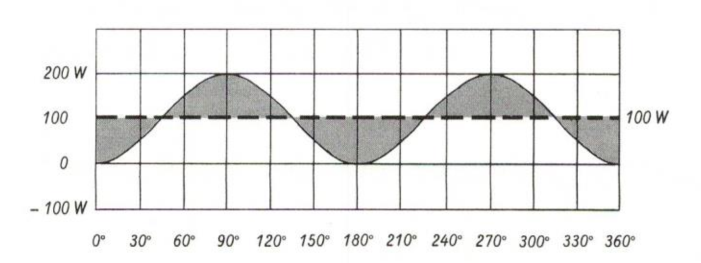
تشكل القدرة الفعالة للملف الخانق جزء القدرة الموجب فقط من منحنى القدرة (شكل ١٩٠-١ب) ويسمى هذا الجزء بالقدرة الفعالة (P). ويتم الحصول على القدرة الفعالة بطرح جزء القدرة السـالب من القيمة الموجبة. وتسـاوي القيمة المتوسطة للقدرة نصف باقي طرح القيمة العظمى السـالبة من القيمة العظمى الموجبة. وتبلغ القيمة المتوسطة للتجربة (٦٤) (شكل ١٩٠-١ب) $(290\ W - 90\ W)/2 = 100\ W$ أي أن القدرة الفعالة للملف الخانق تبلغ 100 W.

وللوصول إلى قدرة مقدارها 100 W عند توافق الطور بين U و I، فإن التيار المطلوب لجهد قدره 100 V ($\hat{U} = 141\ V$) يكون فقط ($\hat{I} = 1{,}41\ A$) $I = \frac{P}{U} = 100\ W/100\ V = 1\ A$. البرهان: الشكلان (١٩١-١أ) أو (١٩١-١ب).


١٩١-١أ) إذا ضرب جزء التيار الفعال للملف الخانق في الجهد الـكلي فإننا نحصل على جزء القدرة الفعال $P = U \cdot I_a$.



أ)



ب) تغير القدرة مع الزمن بالنسبة لشكل ١٩١-١أ. تتفق القيمة المتوسطة لهذه القدرة (100 W) مع القيمة المتوسطة للقدرة في شكل ١٩٠-١ب. نستنتج من هذا أن جزء التيار المتوافق في الطور مع الجهد الـكلي هو وحده الذي يشترك في القيمة المتوسطة للقدرة.

إلا أن الملف الخانق يأخذ في التجربة (٦٤) تيارا كليا قدره 2 A عند قدرة فعالة 100 W. ونظرا لأن جزءا فقط من التيار الكلي (هنا 1 A) يلزم لإنتاج القدرة الفعالة، فإنه يجب أن يكون للجزء المتبقي من التيار شأن آخر.

ملاحظة: يسمى جزء من التيار الكلي I اللازم لإنتاج القدرة الفعالة P بالتيار الفعال I_a:

القدرة الفعالة

$$P = U \cdot I_a$$

١٠-٤-٤ القدرة المفاعلة والتيار المفاعل

تبين الفقرة السابقة أن التيار الكلي I يحتوي على التيار الفعال I_a. ولما كان I_a وحده هو الذي يساهم في إنتاج القدرة الفعالة، فإن الجزء المتبقي من التيار يسمى بالتيار المفاعل I_r. ويمكن الحصول على تغير التيار المفاعل مع الزمن بطرح التيار الفعال I_a من التيار الكلي I عند كل لحظة. ويوضح شكل (١٩٣-١أ) تغير I و I_a مع الزمن. ويبين شكل (١٩٣-١ب) النتيجة وهي: I_r يتأخر عن I_a بمقدار 90°. تنتج القدرة المفاعلة Q من ضرب القيم اللحظية للجهد الكلي في القيم المقابلة للتيار المفاعل. ويبين شكل (١٩٣-٢أ) تغير U و I_r مع الزمن وشكل (١٩٣-٢ب) يبين حاصل الضرب، أي تغير القدرة المفاعلة مع الزمن، وقيمتها المتوسطة صفر لأن القيم الموجبة والقيم السالبة متساوية في المقدار.

ويأخذ الملف الخانق شغلا كهربائيا معينا من المنبع أثناء ربع دورة (القدرة × الزمن خلال ربع دورة) لكي يعطيها ثانية للمنبع في ربع الدورة التالي. فيتأرجح الشغل الكهربائي بين المنبع والملف الخانق دون أن يتحول إلى حرارة، ولا يقاس بواسطة عداد عادي. ويبني هذا الشغل المتأرجح المجال المغنطيسي المتردد في الملف الخانق أثناء ربع دورة ثم يهدمه ثانية في الربع التالي.

القدرة المفاعلة

$$Q = U \cdot I_r$$

ولتجنب الخطأ تستعمل للقدرة المفاعلة وحدة القياس ڤولط أمبير مفاعل (Var)* أو كيلوڤولط أمبير مفاعل (kVar).

ڤولط أمبير مفاعل = جهد 1 V × تيار مفاعل 1 A.

ملاحظة: القدرة المفاعلة هي كمية حسابية فقط ولا تشترك في القدرة الفعلية. وبخلاف ذلك فإن التيار المفاعل هو جزء من التيار الكلي المار فعلا.

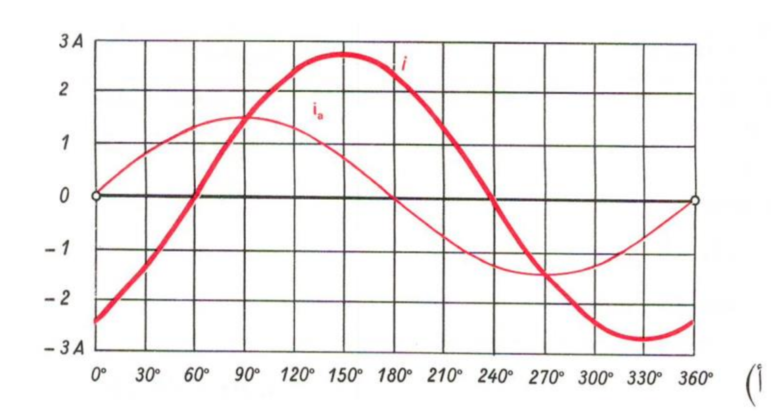
١٠-٤-٥ حساب القدرة في التحميل الحثي

يُفرَّق بين ثلاث قيم للقدرة في التحميل الحثي: القدرة الظاهرية والقدرة المفاعلة والقدرة الفعالة، ويمكن حسابها بواسطة مثلث القدرة (شكل ١٩٤-١).

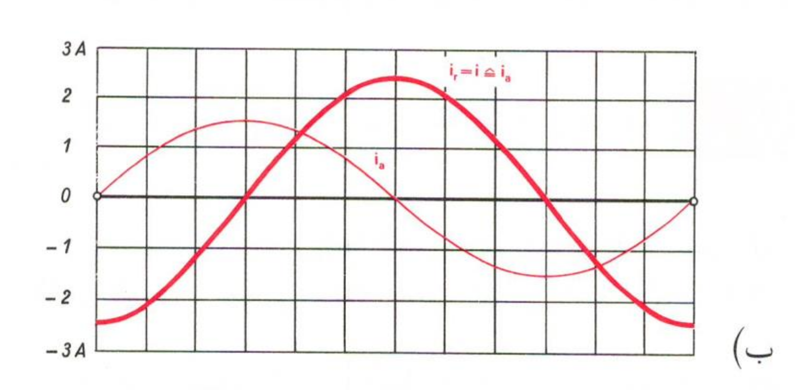
---

* Var هي اختصار (Reactive volt-ampere) وتعني ڤولط أمبير مفاعل.

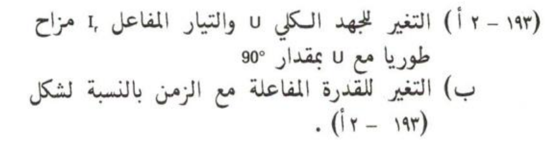
(١٩٣ – ١أ) التغير للتيار الـكلي I والتيار الفعال I_a مع الزمن.
ب) التغير للتيار المفاعل I_r مع الزمن. وهو لا يساهم في القيمة المتوسطة للقدرة.

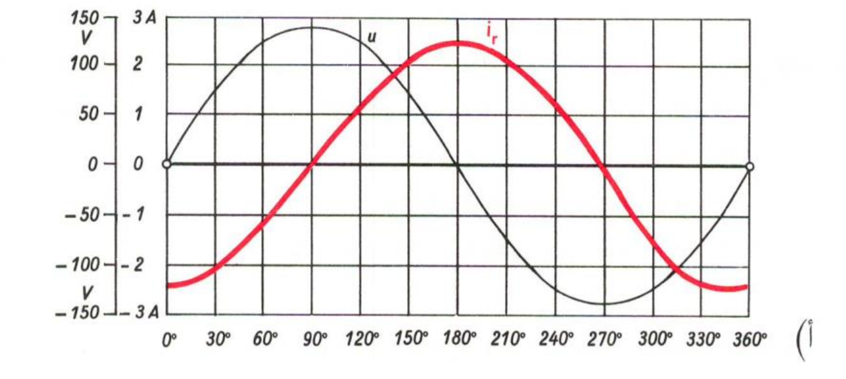


أ)

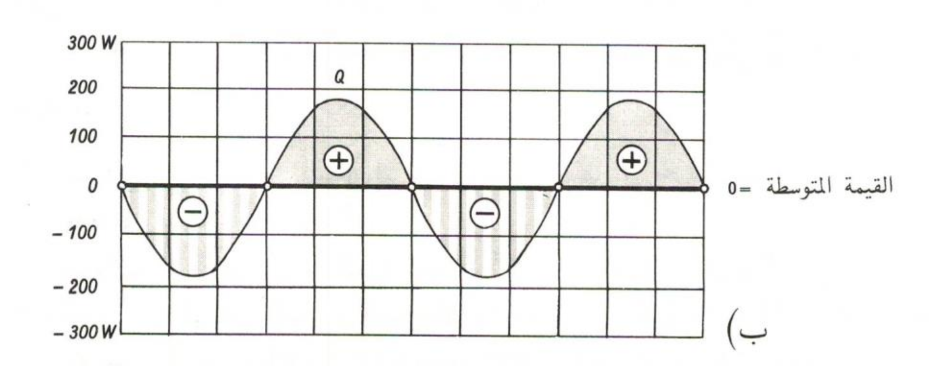


ب)


(١٩٣ – ٢ أ) التغير للجهد الـكلي U والتيار المفاعل I_r مزاح طوريا مع U بمقدار 90°
ب) التغير للقدرة المفاعلة مع الزمن بالنسبة لشكل (١٩٣ – ٢أ).



أ)



ب)

طبقا لنظرية فيثاغوراس		بواسطة الدوال المثلثية
القدرة الفعالة :	$P=\sqrt{S^2-Q^2}$	$P=S\cdot\cos\varphi$
القدرة الظاهرية :	$S=\sqrt{P^2+Q^2}$	$S=\dfrac{P}{\cos\varphi}$
القدرة المفاعلة :	$Q=\sqrt{S^2-P^2}$	$Q=S\cdot\sin\varphi$
معامل القدرة :		$\cos\varphi=\dfrac{P}{S}$
معامل المفاعلة :		$\sin\varphi=\dfrac{Q}{S}$

Q

P S

φ

١٩٤ — ١ مثلث القدرة .

وعلى ذلك يكون :

$S=U\cdot I\ (VA)$

$Q=U\cdot I_r$ وبما أن $(I_r=I\cdot\sin\varphi)$ طبقا لمثلث التيار ، نعوّض عن قيمة I_r فينتج : $Q=U\cdot I\cdot\sin\varphi\ (Var)$

$P=U\cdot I_a$ وبما أن $(I_a=I\cdot\cos\varphi)$ طبقا لمثلث التيار ، نُعوِّض عن قيمة I_a فينتج : $P=U\cdot I\cdot\cos\varphi\ (W)$

القدرة الفعالة في حالة التيار المتردد عامّةً هي : $P=U\cdot I\cdot\cos\varphi$

وجيب تمام زاوية الإزاحة الطورية هو المعامل الذي يجب أن يضرب في حاصل ضرب التيار والجهد للحصول على القدرة الفعلية . ويسمى $\cos\varphi$ بمعامل القدرة بالنسبة للتيار المتردد .

ولا يمكن تعيين القدرة في التيار المتردد بواسطة قياس U و I فقط ، لأننا بذلك نهمل $\cos\varphi$. بل يجب أن يتم قياس القدرة بواسطة واطمتر ، وهو يعطي القدرة الفعالة $P=U\cdot I\cdot\cos\varphi$.

مثال ١ : لوحة القدرة لمحرك يعمل بالتيار المتردد مدوّن عليها مايلي : $U=220\ V;\ I=15\ A;\ \cos\varphi=0{,}8$
احسب القدرة الفعالة والقدرة المفاعلة والقدرة الظاهرية وكذلك قدرة الخرج P_2 إذا كانت الكفاية $\eta=0{,}85$.

المعطيات : $U=220\ V;\ I=15\ A;\ \cos\varphi=0{,}8;\ \eta=0{,}85$

المطلوب : حساب كل من : S (kVA) و Q (kVar) و P_2 (kW) و P (kW) .

الحل :

$P=U\cdot I\cdot\cos\varphi=220\ V\cdot15\ A\cdot0{,}8=2640\ W=2{,}64\ kW$

$P_2=P\cdot\eta=2{,}64\ kW\cdot0{,}85=2{,}24\ kW$

$S=U\cdot I=220\ V\cdot15\ A=3{,}3\ kVA$

$Q=U\cdot I\cdot\sin\varphi=220\ V\cdot15\ A\cdot0{,}599=1{,}97\ kVar$

مثال ٢ : كم يبلغ معامل القدرة والتيار الفعال لملف مقاومته الأومية $10\ \Omega$ ويسحب تيارا شدته 5 A عند توصيله على 220 V ؟

المعطيات : $R=10\ \Omega;\ U=220\ V;\ I=5\ A$

المطلوب : حساب كل من I_a (A) و $\cos\varphi$

الحل :

$P=I^2\cdot R=5\ A\cdot5\ A\cdot10\ \Omega=250\ W;\ S=U\cdot I=220\ V\cdot5\ A=1100\ VA$

$\cos\varphi=\dfrac{P}{S}=\dfrac{250\ W}{1100\ VA}=0{,}227;\ I_a=I\cdot\cos\varphi=5\ A\cdot0{,}227=1{,}13\ A$

تمرينات

١ – ما هي شدة كل من التيار الإسمي والفعال والمفاعل لمحرك يعمل بالتيار المتردد قدرته 8 kW ، إذا كانت كفايته 84% ومعامل قدرته $\cos\varphi=0{,}8$ ؟

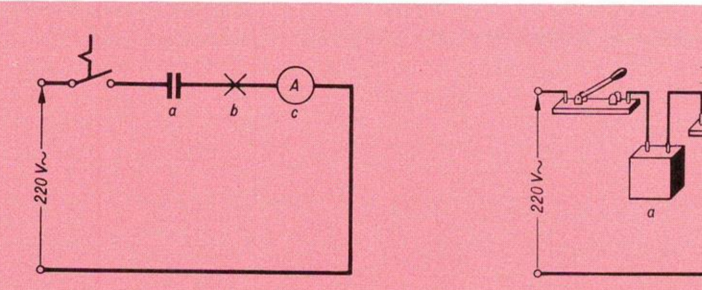
٢ – لماذا يستحيل أن تكون القدرة الفعالة أكبر من القدرة الظاهرية ؟

٣ – ارسم تغير كل من التيار والجهد والقدرة مع الزمن لملف ما مع إهمال المقاومة R .
مقاييس الرسم : $U=100\ V;\ 1\ mm\ \hat{=}\ 4\ V;\ 1\ mm\ \hat{=}\ 10\ W;\ I=5\ A;\ 1\ mm\ \hat{=}\ 0{,}2\ A$.

١٠-٥ التحميل السعوي في دائرة التيار المتردد

١٠-٥-١ سماح المكثف للتيار المتردد بالمرور خلاله ظاهريا

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة



التجربة ٦٥ لا يمنع المكثف سريان التيار المتردد

التجهيزات : مصدر جهد متردد 220 V مع مفتاح
a = مكثفان 4 µF و 8 µF
b = مصباح متوهج 200 W
c = أمبيرمتر للتيار المتردد

خطوات العمل : ١ – كوّن الدائرة بالمكثف 4 µF ، وراقب الأمبيرمتر والمصباح .

٢ – ضع المكثف 8 µF في الدائرة ، وكرر التجربة .

المشاهدة : في الخطوة (١) : إضاءة المصباح معتمة ، I=0,29 A
في الخطوة (٢) : إضاءة المصباح ساطعة ، I=0,5 A

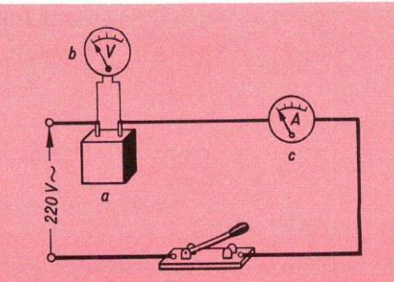
النتيجة : لا تمنع المكثفات سريان التيار المتردد ، وكلما زادت السعة إزداد التيار المتردد .

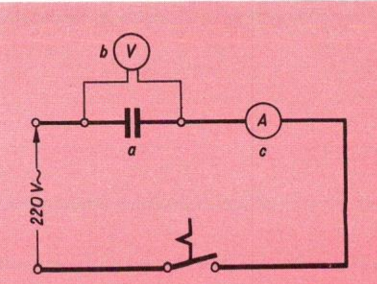
يشحن المكثف ويفرغ شحنته بصفة مستمرة في حالة التيار المتردد . كما هو معلوم فإن التيار المستمر (انظر صفحة ١٥٢) يمر في لحظة التوصيل وعند قصر الدائرة فقط . وإذا وصل جهد متردد على المكثف فإنه يشحن ويفرغ بإستمرار نتيجة للتغير الدائم للجهد ، وتتوالى تيارات الشحن والتفريغ بلا انقطاع ، ويبدو الأمر كما لو كان التيار المتردد يسري في المكثف . ولا يبيِّن الأمبيرمتر نبضة تيار الشحن والتفريغ فقط كما في حالة التيار المستمر ، وإنما يعطي إنحرافا دائما .

١٠-٥-٢ مقاومة المكثف للتيار المتردد

تأثير السعة في تيار المكثف والمفاعلة السعوية X_C . يحتاج مكثف ذو سعة 4 µF مثلا إلى ضعف الأمبير ثانية لكل فولط – أي ضعف التيار لجهد وتردد ثابتين – اللازم لمكثف له نصف قيمة السعة (2 µF) . وطبقا للتجربة (٦٥) ، تتناسب شدة التيار المتردد المنقول عبر المكثف مع السعة تناسبا طرديا ($I \sim C$) عند ثبات الجهد والتردد . وتتناسب المفاعلة السعوية للمكثف تناسبا عكسيا مع السعة ($X_C \sim 1/C$) عند جهد وتردد ثابتين .

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة





التجربة ٦٦ تؤثر سعة المكثف على قيمة مفاعلته السعوية

التجهيزات : مصدر جهد متردد 220 V مع مفتاح
a = ثلاثة مكثفات 2 µF و 4 µF و 8 µF
b = ڤولطمتر للجهد المتردد
c = أمبيرمتر للتيار المتردد

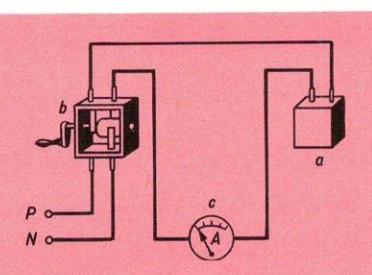
خطوات العمل : ١ – كوّن الدائرة (طبقا لمخطط التجربة) .
٢ – اقرأ الڤولطمتر والأمبيرمتر واحسب المفاعلة السعوية للمكثف .
٣ – كما في الخطوة (٢) ، ولكن باستعمال المكثف 4 µF .
٤ – كما في الخطوة (٢) ، ولكن باستعمال المكثف 8 µF .

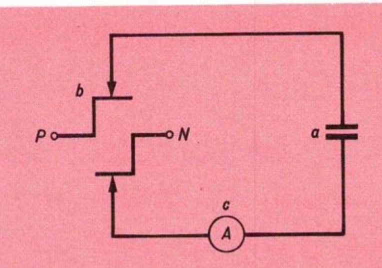
القراءات :

السعة C	الجهد U	التيار I	المفاعلة السعوية
µF	V, 50 Hz	A	U/I (Ω)
2	220	0,140	1600
4	220	0,275	800
8	220	0,550	400

النتيجة : يزداد التيار وتقل المفاعلة السعوية كلما زادت السعة عند ثبات الجهد والتردد .

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة





التجربة ٦٧ يؤثر تردد الجهد المتردد على قيمة المفاعلة السعوية للمكثف

التجهيزات : مصدر جهد مستمر 220 V
a = مكثف 10 µF
b = مفتاح تبديل الأقطاب
c = أمبيرمتر للتيار المتردد

خطوات العمل : يدار مفتاح تبديل الاقطاب لحصول على سرعات مختلفة ، راقب الأمبيرمتر .

المشاهدة : كلما أدير مفتاح تبديل الأقطاب بسرعة أكبر زادت شدة التيار .

النتيجة : كلما زاد التردد لجهد ثابت القيمة زاد التيار ، أي قلّت قيمة المفاعلة السعوية للمكثف .

١٩٧ - ١ طريقة عمل مفتاح تبديل القطبية : قطعتا تلامس أسطوانيتان موضوعتان معا على محور واحد ومعزولتان عن بعضهما البعض. تعطي ريشتا تلامس المنبع قطعة التلامس اليسرى جهدا موجبا وقطعة التلامس اليمنى جهدا سالبا. تأخذ ريشتا التلامس الأخريان (الحمل) جهدا موجبا أو سالبا بالتبادل حسب وضع المرفق. لا يتبع الجهد الناتج منحنى جيبي وإنما يتبدل على هيئة موجة مربعة.

تأثير التردد على المكثف وعلى المفاعلة السعوية. إذا ضوعف تردد الجهد المتردد الثابت من 50 Hz ليصبح 100 Hz، فإن الوقت المطلوب للشحن والتفريغ ينخفض إلى النصف. ولشحن المكثف في نصف الزمن إلى نفس القيمة السابقة، يجب أن تضاعف القيمة اللحظية لتيار الشحن. وفي حالة ثبوت جهد المكثف فإن التيار يتضاعف مع مضاعفة التردد.

وبالعكس، إذا اتصل المكثف بجهد ذي تردد 25 Hz فقط، فإن الوقت المتاح للشحن والتفريغ عند هذا التردد يتضاعف لنفس الجهد على المكثف وتكون قيم التيار اللحظية نصف القيم السابقة.

ملاحظة: يتناسب التيار المتردد المار في المكثف طرديا مع تردد الجهد $I \sim f$ عند ثبات جهد المكثف. وتقل المفاعلة السعوية للمكثف إذا ارتفع التردد، أي أن $X_C \sim \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f}$.

وتسمى القيمة $2 \cdot \pi \cdot f$ بالتردد الزاوي، ويرمز لها بالرمز ω.

١٠-٥-٣ المفاعلة السعوية وتسميتها بالمقاومة المفاعلة

تنطبق على المكثف العلاقة : $X_C = U/I$

وبالإضافة إلى ذلك فقد ثبت أن : $X_C \sim 1/C;\ X_C \sim \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f}$

حيث :

f = التردد (Hz)

C = السعة (F)

ω = $2 \cdot \pi \cdot f$ (Hz)

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

مثال ١ : إحسب المفاعلة السعوية وتيار الشحن لمكثف ذي سعة $C = 1\,\mu F$، إذا اتصل بمنبع جهد متردد 50 Hz و 220 V.

المعطيات : $C = 1\,\mu F;\ f = 50\,Hz;\ U = 220\,V$

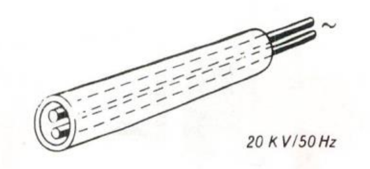
المطلوب : حساب كل من : $X_C\,(\Omega)$ و $I\,(A)$

الحل :

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 50 \cdot s^{-1} \cdot 1 \cdot 10^{-6}\ \frac{As}{V}} = \frac{10^6}{314}\ \Omega = 3200\ \Omega$$

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{220\ V}{3200\ \Omega} = 0{,}068\ A$$

١٩٨ - ١ تعمل موصلات الـكبلات الطويلة كألواح مكثف.



تسبب الخواص السعوية للـكبلات والخطوط الهوائية الطويلة متاعب عملية. إذ تؤثر الموصلات كألواح مكثفات، ويمكن أن يصبح تيار الشحن كبيرا في حالة خطوط الجهود العالية لدرجة ألا يصبح التشغيل مضمونا. وهنا يكمن السبب كذلك في عدم اشتراط تحسين معامل القدرة $\cos\varphi$ إلى الواحد الصحيح من قبل هيئات الطاقة الـكهربائية.

مثال ٢: وصل جهد متردد قدره 20 000 V وتردده 50 Hz على كبل طوله 30 km ومفتوح عند نهايته ما مقدار تيار الشحن I، الذي يسري بدون توصيل حمل، إذا كان للـكبل سعة قدرها 0,25 μF لكل كيلومتر؟

المعطيات: $C = 0{,}25\ \mu F/km;\ \ U = 20\,000\ V;\ \ f = 50\ Hz;\ \ l = 30\ km$

المطلوب: حسـاب كل من: $X_C\,(\Omega)$ و $I\,(A)$

الحل:

$$X_C = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot f\cdot C} = \frac{As}{6{,}28\cdot 50\cdot s^{-1}\cdot 7{,}5\cdot 10^{-6}\ \dfrac{As}{V}} = 425\ \Omega$$

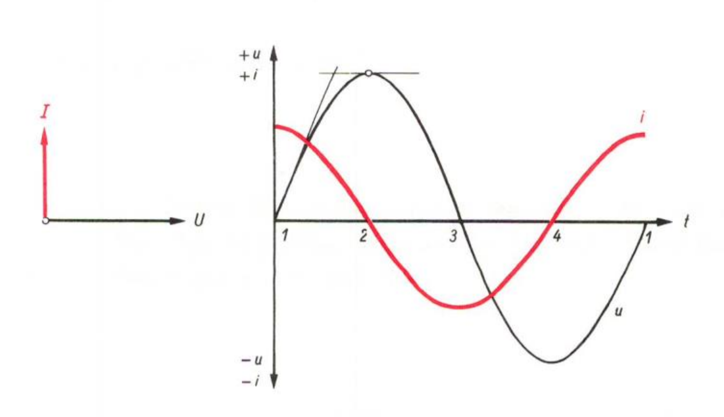
$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{20\,000\ V}{425\ \Omega} = 47\ A$$

١٠-٥-٤ تقدم تيار المكثف على الجهد

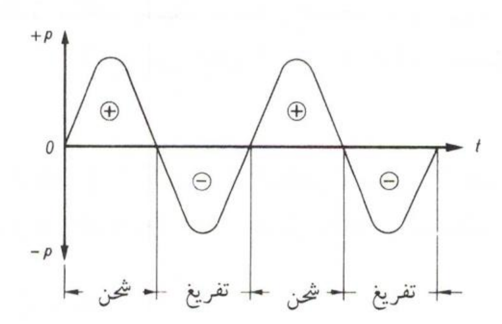
يبين شكل (١٩٩-١) الجهد المتردد U لمكثف، وهو يرتفع لحظة البداية 1 أولا باندفاع كبير ثم ببطء، ويتبع ارتفاع الجهد تيار الشحن. ولما كانت سرعة تغير الجهد تصل حدها الأقصى عند اللحظة 1 (ميل المماس عند 1)، فإن تيار الشحن يصل إلى قيمته العظمى عند هذه اللحظة. وتقل قيمته كلما قلت سرعة تغير الجهد. وعند اللحظة 2 يبلغ الجهد قيمته العظمى، أي أن سرعة التغير تكون صفرا (المماس أفقي)، وينتهي شحن المكثف. اذاً لا يحدث عند هذه اللحظة شحن أو تفريغ، ويجب أن يمر تيار المكثف في هذه اللحظة بالصفر.

بعد ذلك تقل القيمة اللحظية للجهد ببطء أول الأمر ثم تتزايد سرعة التناقص ويصاحب ذلك تيار تفريغ في اتجاه معاكس لتيار الشحن (تيار شحن سالب). ولما كان مقدار سرعة تغير الجهد عند هبوطه يزداد باستمرار فإن تيار التفريغ يزداد أيضا. وعند اللحظة 3 يبدأ الشحن من جديد، ولـكن في اتجاه مضاد لذي قبل، وينتهي عند اللحظة 4، ويكون التيار المصاحب للشحن السالب حينئذ صفرا. ولا تكون عملية التفريغ التالية ممكنة إلا بتغيير إشارة التيار.

ملاحظة: يكون كل من U و I في عملية الشحن دائما في نفس الاتجاه، ويكونان في عملية التفريغ في اتجاهين متضادين.



١٩٩ - ١ تغير التيار والجهد مع الزمن في مكثف مثالي (عديم الفقد) موصل على جهد متردد.



١٩٩ - ٢ تغير القدرة مع الزمن في مكثف مثالي (عديم القدرة) موصل على جهد متردد.

يتقدم التيار على الجهد بمقدار 90° في المكثف المثالي كما هو مبين بمخطط المتجهات (شكل ١٩٩-١).

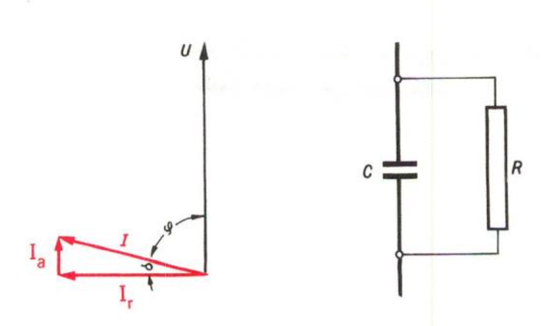
١٠-٥-٥ القيمة المتوسطة للقدرة في المكثف المثالي (تساوي صفرا)

عند تكوين القيم اللحظية للقدرة من حاصل ضرب القيم اللحظية لكل من U و I، نجد أن تغير القدرة الناتج يكون مطابقا للشكل (١٩٩-٢)، حيث يتساوى فيه نصفا الموجة الموجب والسالب، أي أن قيمته المتوسطة تساوي صفرا. وعند الشحن يخزن المكثف كمية من القدرة - وبالتالي من الشغل - ويعطيها ثانية عند التفريغ. ولأن هذه العملية تحدث بضعف التردد فإنه ليس بإمكان عداد عادي قياس ذلك الشغل.

١٠-٥-٦ الفقد في المكثفات (كل مكثف به فقد)

يتسبب المكثف المثالي في إزاحة طورية بين التيار والجهد قدرها φ = 90°. إلا أن ذلك لا يحدث مطلقا في التطبيق العملي، لأنه لا يوجد مكثف خال تماما من الفقد.

وإذا اتصل مكثف بجهد متردد، ينشأ مجال كهربائي متردد بين طبقتيه كما هو معلوم، أي في الطبقة البينية العازلة. ويتغير استقطاب المادة العازلة مرتين أثناء كل دورة للجهد المتردد، مما يستلزم قدرا من الشغل الكهربائي، والذي يمثل في المكثف أعلى نسبة فقد (حرارة). أما الطاقة المفقودة في أجزاء المكثف الموصلة وفي أسلاك التوصيل إليه فتعتبر أقل أهمية.



٢٠٠ - ١ دائرة مكافئة لمكثف به فقد .

٢٠٠ - ٢ رسم المتجهات لمكثف به فقد . يسبق التيار الجهد بأقل من °90 ، حيث U= جهد الأطراف ، I_r= التيار المار خلال المكثف المثالي ، I_a= التيار المار خلال المقاومة الفعالة ، φ= زاوية الإزاحة الطورية بين U و I ، δ= زاوية الفقد .

وعلى ذلك فإن الطاقة المفقودة تؤدي إلى أن تكون قيمة الإزاحة الطورية بين التيار والجهد أقل من °90 . ولحساب الفقد يجري وضع دائرة مكافئة ثم يرسم بناءً على ذلك مخطط المتجهات . وتوجد دوائر مكافئة مختلفة ، إلا أنه يمكن الحصول على دائرة مكافئة بسيطة نسبيا وصحيحة لمدى تردد ضيق ، إذا ما افترضنا مقاومة فعالة موصلة على التوازي مع المكثف (شكل ٢٠٠-١) . ويبين شكل (٢٠٠-٢) مخطط المتجهات التابع لها .

ويعبر عن الفقد في المكثف في التطبيق العملي بما يسمى بزاوية الفقد δ (تنطق دلتا delta) وتساوي (°90 - φ) . ويعرف ظل زاوية الفقد (tan δ) بمعامل الفقد للمكثف . ومن مخطط المتجهات يمكن إيجاد tan δ وهي تساوي $\frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الضلع المجاور}}$: $\tan\delta = \frac{I_a}{I_r}$.

ويسمى مقلوب معامل الفقد ($\frac{1}{\tan\delta}$) بجودة المكثف .

ومن المعتاد أيضا أن يذكر الفقد الداخلي للمكثف بدلا من معامل الفقد ، ويعطى ذلك الفقد عند الجهد الاسمي كنسبة مئوية من القدرة المفاعلة الإسمية .

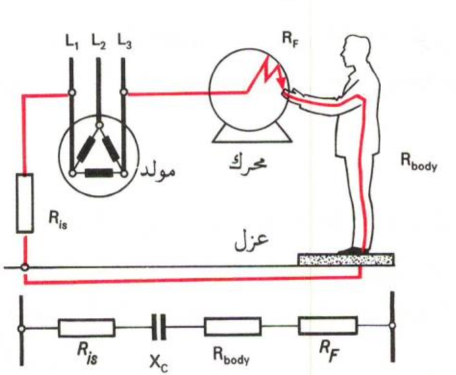
تمرينات

١ - احسب مفاعلة مكثف سعته C = 1 pF عند الترددات (f) 1 Hz و 10 Hz و 100 Hz و 1000 Hz و 10 000 Hz . دوّن القيم في جدول وقارن بين النتائج .

٢ - مفاعلة مكثف X_C هي 400 Ω عند تردد f = 50 Hz ارسم بالإستعانة بالمعلومات المستمدة من التجربتين (٦٦) و (٦٧) منحنى بيانيا موقعا على محوره الرأسي X_C من 0 إلى 800 Ω وعلى محوره الأفقي f (من 0 إلى 250 Hz) . ما هي إمكانيات الإستفادة بهذا المنحنى البياني؟

٣ - في دائرة إلكترونية تعمل بجهد متردد 50 Hz و 250 V يلزم استبدال مقاومة توال قدرها 1 kΩ بمكثف . إحسب سعة المكثف واشرح المزايا الناتجة عن هذا الإستبدال .

٤ - يبين شكل (٢٠٠-٣) دائرة تيار تنشأ عن عزل قدم الرجل والأرض عن بعضهما البعض بطبقة عازلة رقيقة من بلاستيك الأرضيات ، فتكوّنان بذلك لوحي مكثف . اشرح الخطر الممكن حدوثه رغم عزل الرجل جيدا عن الأرض .



٢٠٠ - ٣ شكل السؤال ٤ .

١١ مبادئ الدوائر المركّبة للتيار المتردد

١١-١ توصيل عناصر مختلفة على التوالي

في التوصيل على التوالي يمر نفس التيار في كل عنصر من عناصر الدائرة، لذلك فعند رسم مخطط المتجهات لإيجاد الجهود الفرعية (الجزئية) يختار متجه التيار ككمية إسنادية. ويجب ملاحظة أن الجزء الفعال للجهد U_a، الواقع على المقاومة الفعالة، يجب أن يتوافق في الطور مع التيار، بينما يتقدم الجزء المفاعل الحثي من الجهد U_L التيار بمقدار $90°$ ويتأخر الجزء المفاعل السعوي من الجهد U_C عن التيار بمقدار $90°$.

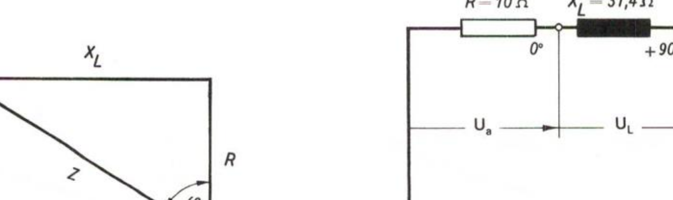
ويكون لمثلث المعاوقة وضع مناظر، لأن مثلث الجهود يصبح مثلث المعاوقة إذا قسمت قيم الجهود على قيمة التيار.

١١-١-١ توصيل مقاومة فعالة ومفاعلة حثية خالصة على التوالي

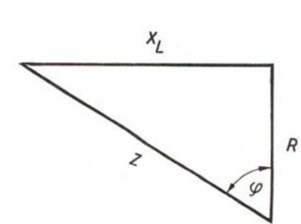
يصلح هذا التمثيل أيضا إذا أخذت المقاومة الفعالة المصاحبة لكل ملف خانق في الاعتبار. ويمكن افتراض أن المعاوقة الكلية تنقسم إلى مقاومة فعالة ومفاعلة خالصة موصلتين على التوالي. ويبين شكل (٢٠١-١) مقاومة فعالة $R = 10\,\Omega$ ومفاعلة خالصة $X_L = 31{,}4\,\Omega$ موصلتين على التوالي على جهد متردد $50\,Hz$ و $U = 220\,V$. ولتعيين الجهد الفعال U_a والجهد المفاعل U_L وزاوية الإزاحة الطورية φ يمكن اتباع طريقة الحل التالية:

بما أن المقاومة والمفاعلة معلومتان، فإنه يمكن حساب المعاوقة الكلية Z باستخدام مثلث المعاوقة حسابيا وبالرسم.

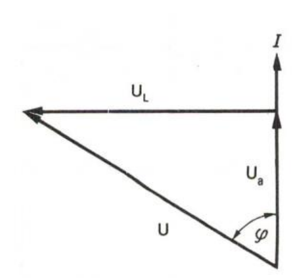
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(10\,\Omega)^2 + (31{,}4\,\Omega)^2} \approx 33\,\Omega$$



٢٠١ - ١ مقاومة فعالة ومفاعلة حثية على التوالي، 0° تعني: مقاومة فعالة خالصة، +90° تعني: مفاعلة خالصة، وهي تسبب إزاحة طورية بين U و I بحيث يتأخر التيار عن الجهد بمقدار 90°.



٢٠١ - ٢ مثلث المعاوقة للدائرة في شكل ٢٠١ - ١.



٢٠١ - ٣ مثلث الجهود للتوصيل على التوالي في شكل ٢٠١ - ١.

ويمكن حساب التيار الكلي بمعلومية الجهد الكلي .

$$I=\frac{U}{Z}=\frac{220\ V}{33\ \Omega}=6,66\ A$$

وبذلك يكون : $U_a=I\cdot R=6,66\ A\cdot 10\ \Omega=66,6\ V$

$$U_L=I\cdot X_L=6,66\ A\cdot 31,4\ \Omega=209\ V$$

تحقيق : $U=\sqrt{U_a^2+U_L^2}=220\ V$

يمكن أيضا رسم مخطط المتجهات (شكل ٢٠١-٣) بالإستعانة بمقداري الجهد. ويمكن إيجاد زاوية الإزاحة الطورية بالقياس أو بالحساب من مخطط المتجهات أو مثلث المعاوقة .

$$\cos\varphi=\frac{R}{Z}=\frac{10\ \Omega}{33\ \Omega}=0,303;\ \ \varphi=72°20'$$

١١-١-٢ توصيل مقاومة فعالة ومفاعلة سعوية خالصة على التوالي

يصلح هذا التمثيل أيضا إذا لزم أخذ معامل الفقد في المكثف في الاعتبار .

مثال : يبين شكل (٢٠٢-١) مقاومة فعالة $R=100\ \Omega$ ومفاعلة سعوية خالصة $C=10\ \mu F$ موصلتين على التوالي على جهد متردد $50\ Hz$ و $U=220\ V$ والمراد تعيين الجهد الفعال U_a والجهد المفاعل U_C وزاوية الإزاحة الطورية φ .

الحل : بعد تعيين المفاعلة السعوية ، يمكن اتباع طريقة الحل كما هو مبين في شكل (٢٠١-١) .

$$X_C=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot f\cdot C}=\frac{1}{2\cdot 3,14\cdot 50\cdot s^{-1}\cdot 10\cdot 10^{-6}\ \frac{As}{V}}\approx 318\ \Omega$$

$$Z=\sqrt{R^2+X_C^2}=\sqrt{(100\ \Omega)^2+(318\ \Omega)^2}=334\ \Omega$$

$$I=\frac{U}{Z}=\frac{220\ V}{334\ \Omega}=0,657\ A;\ \ U_a=I\cdot R=0,657\ A\cdot 100\ \Omega=65,7\ V$$

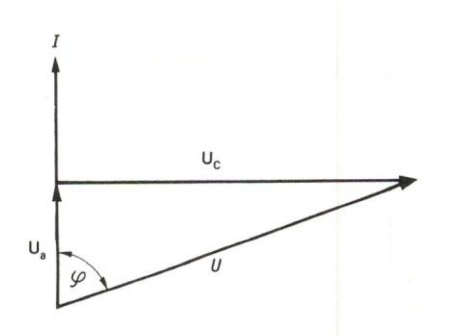
$$U_C=I\cdot X_C=0,657\ A\cdot 318\ \Omega=210\ V$$

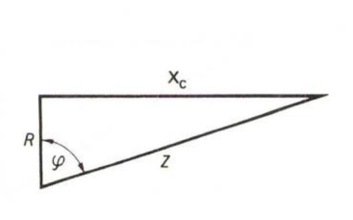
$$\cos\varphi=\frac{R}{Z}=\frac{100\ \Omega}{334\ \Omega}=0,3;\ \ \varphi=72°30'$$

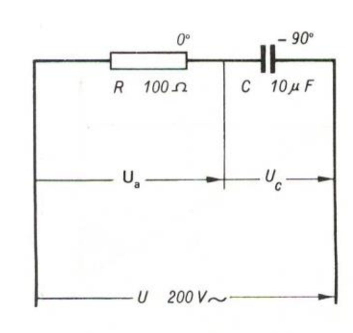
أو

$$\cos\varphi=\frac{U_a}{U}=\frac{65,7\ V}{220\ V}=0,3$$

٢٠٢ - ١ مقاومة فعالة ومفاعلة سعوية على التوالي، °90- تعني : مفاعلة خالصة تسبب إزاحة طورية بين U و I بحيث يتقدم التيار عن الجهد بمقدار °90.
٢٠٢ - ٢ مثلث المعاوقة للدائرة في شكل ٢٠٢ - ١.
٢٠٢ - ٣ مثلث الجهود للدائرة في ٢٠٢ - ١.







يمكن استخدام المكثفات في دائرة تيار متردد كمعاوقة توال . ويمكن بواسطة المكثف خفض جزء من جهد المنبع دون فقد يذكر بعكس استخدام المقاومة الأومية .

مثال : يلزم خفض قدرة كاوية لحام 220 W/220 V أثناء فترات الراحة بين عمليات اللحام إلى 55 W . احسب مقدار سعة المكثف الواجب توصيله كمعاوقة توال لكي نحصل على الهبوط اللازم في الجهد

المعطيات : $P_1 = 220\ W;\ P_2 = 55\ W;\ U = 220\ V \sim,\ 50\ Hz$

المطلوب : حساب سعة المكثف (C) بوحدة (µF) .

الحل : يجب أولا تعيين قيمة مقاومة سلك التسخين في كاوية اللحام $R = \frac{U^2}{P} = \frac{(220\ V)^2}{220\ W} = 220\ \Omega$

إذا لزم خفض قدرة كاوية اللحام إلى 55 W فيجب أن تصبح شدة التيار في سلك التسخين

$$I^2 = \frac{P}{R} = \frac{55\ W}{220\ \Omega} = 0{,}25\ A^2;\ I = \sqrt{0{,}25\ A^2} = 0{,}5\ A$$

الجهد اللازم لإمرار 0,5 A في المقاومة الفعالة 220 Ω :

$$U_a = I \cdot R = 0{,}5\ A \cdot 220\ \Omega = 110\ V$$

ولما كان المكثف يمثل مفاعلة سعوية ، فإنه يجب تعيين الجهد الجزئي الذي يلزم إلغاؤه بالمكثف كمقاومة توال بواسطة مثلث الجهود (شكل ٢٠٢-٣) :

$$U_C = \sqrt{U^2 - U_a^2} = \sqrt{(220\ V)^2 - (110\ V)^2} = 190{,}5\ V$$

ويعطي الحل بالرسم القيمة ذاتها . ثم تحسب بعد ذلك قيمة المفاعلة السعوية :

$$X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{190{,}5\ V}{0{,}5\ A} = 381\ \Omega$$

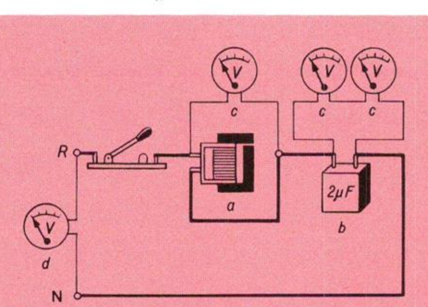
وبذلك تكون سعة المكثف :

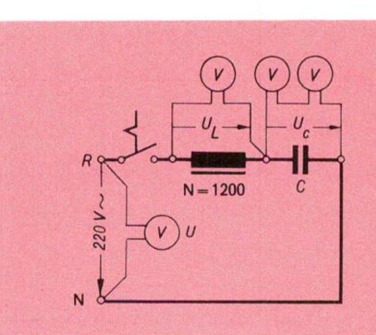
$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 50 \cdot 5^{-1} \cdot 381\ \Omega} = 8{,}35\ \mu F$$

بالمقارنة بوضع التشغيل نجد أنه قد تم توفير 165 W وقتَ الراحة الراحة ، لأن المكثفات - كمفاعلة سعوية - لا تستهلك أية قدرة .

١١-١-٣ توصيل مفاعلة حثية ومفاعلة سعوية على التوالي

مخطط التجربة
والرسم التخطيطي للدائرة





التجربة ٦٨ ملف ومكثف موصلان على التوالي

التجهيزات : مصدر جهد متردد 220 V و 50 Hz مع مفتاح
a = ملف عدد لفاته N=1200 بقلب حديدي مقفل (خانق) .
b = مكثفان 2 µF و 4 µF (جهد التشغيل لكل منهما هو 750 V) .
c = ثلاثة ڤولطمترات للجهد المتردد ، مدى قياس كل منها 400 V .
d = ڤولطمتر للجهد المتردد ، مدى قياسه 250 V .

خطوات العمل : ١ - صِلْ الدائرة
٢ - إقرأ U و U_L و U_C باستخدام المكثف $C=2\,\mu F$
٣ - كرر الخطوة (٢) مستخدما المكثف $C=4\,\mu F$

القراءات :

الملف	المكثف	U	U_L	U_C
1200 لفة	2 μF	220 V	100 V	320 V
1200 لفة	4 μF	220 V	360 V	580 V

النتيجة : تبلغ الجهود الجزئية قيما مرتفعة . في القياس الثاني يبلغ كلا الجهدين قيما أعلى بكثير من جهد المنبع .

قد تظهر جهود مرتفعة خطرة على الحياة عند توصيل ملف ومكثف على التوالي . ويعتمد مقدار الجهود الجزئية عند ثبات جهد المنبع والتردد على المقاومة الفعالة والمفاعلة لمكونات الدائرة . وقد تحدث ظاهرة الرنين في الحياة العملية عند وصل ملفات آلة مع مكثف إزاحة طورية على التوالي (صفحة ٢٠٥) . وعندئذ قد يتلف عزل الملفات والمكثفات .

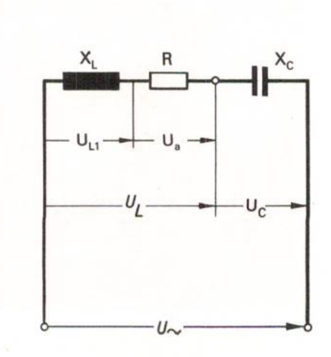
يوضح مثلث المعاوقة ومخطط المتجهات للجهود نتيجة التجربة. كما يبين شكل (٢٠٤-١) نجد أن مقاومة سلك الملف R موضحة رمزيا كمقاومة فعالة صغيرة . وفي حين أن R تتحد مع I في الطور ، إلا أن المفاعلة الحثية والسعوية ترسم بإزاحة °90 وترسم المفاعلتان متضادتين لأنهما تؤثران عكس بعضهما البعض . وترسم X_L دائما إلى اليسار (جهد متقدم) في التمثيل المبين وترسم X_C إلى اليمين (جهد متأخر) (شكل ٢٠٤-٢) . وتبعا لذلك تبلغ المعاوقة الكلية :

$$Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2} .$$

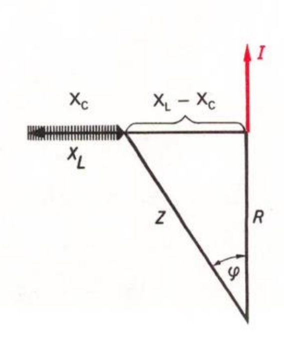
ويبلغ التيار الكلي $I=\frac{U}{Z}$. وبضرب كل مقاومة في التيار الكلي نحصل على مخطط المتجهات للجهود (شكل ٢٠٤-٣) ويبلغ الجهد الكلي :

$$U=\sqrt{U_a^2+(U_{L1}-U_C)^2} .$$

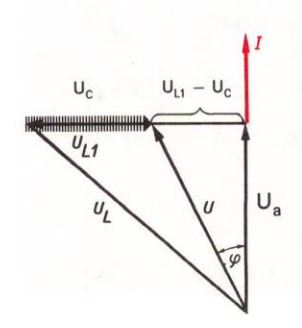
ويستنتج من مثلث المعاوقة أن قيم المفاعلة الحثية والسعوية قد تلغي بعضها البعض جزئيا أو كليا . وبذلك تصبح شدة التيار أكبر منها في حالة مقاومات فعالة لها نفس القيم . ولما كانت الجهود الفرعية (الجزئية) تنتج من حاصل ضرب قيم التيارات في قيم المقاومات فإنها تكون مرتفعة .



٢٠٤ - ١ تمثيل المقاومة الأومية لسلك الملف .



٢٠٤ - ٢ مثلث المعاوقة .



٢٠٤ - ٣ مثلث الجهود

١١-١-٤ رنين التوالي أو رنين الجهد

تحدث حالة الرنين عند توصيل ملف ومكثف على التوالي إذا ما كانت مفاعلة الملف الحثية : $X_L=\omega\cdot L$.
تساوي تماما المفاعلة السعوية $X_C=\frac{1}{\omega\cdot C}$.
في هذه الحالة تكون المعاوقة الكلية $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}=\sqrt{R^2+0}$ ،
أي أن $Z=R$. ويمكن حساب التيار الكلي في هذه الحالة طبقا لقانون أوم البسيط $(\cos\varphi=1)$.

شرط الرنين $\omega\cdot L=\frac{1}{\omega\cdot C}$ وحيث أن $\omega=2\cdot\pi\cdot f$ فإن : $f=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{L\cdot C}}$

مثال ١ : في دائرة تيار متردد 220 V ، وُصِّل مكثف سعته $C=1\,\mu F$
على التوالي مع ملف محاثته $L=0{,}2\,H$ ومقاومته $R=10\,\Omega$.
أ) عند أي تردد يحدث الرنين؟
ب) ما قيمة المفاعلات عندئذ؟
ج) ما قيمة الجهد بين طرفي المكثف عند الرنين؟

المعطيات : $L=0{,}2\,H;\ R=10\,\Omega;\ U=220\,V$

المطلوب : حساب كل من : $f\,(Hz)$ و $X_L\,(\Omega)$ و $X_C\,(\Omega)$ و $U_C\,(V)$

الحل :

$$f=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{L\cdot C}}=\frac{1}{2\cdot3{,}14\cdot\sqrt{0{,}2\,\Omega\cdot s\cdot1\cdot10^{-6}\,s/\Omega}}=355\,Hz$$

$$X_L=2\cdot\pi\cdot f\cdot L=6{,}28\cdot355\cdot s^{-1}\cdot0{,}2\,\Omega\cdot s=446\,\Omega$$

$$X_C=\frac{1}{\omega\cdot C}=\frac{1}{6{,}28\cdot355\cdot s^{-1}\cdot1\cdot10^{-6}\,s/\Omega}=446\,\Omega$$

$$I=\frac{U}{R}=\frac{220\,V}{10\,\Omega}=22\,A;\ U_C=I\cdot X_C=22\,A\cdot446\,\Omega=9800\,V$$

عند الرنين تكون قيمة المعاوقة للتوصيل على التوالي أصغر ما يمكن ومقدار التيار أكبر ما يمكن . وتبلغ الجهود الفرعية (الجزئية) ، أي كل من الجهد المفاعل الحثي والسعوي ، قيمتها القصوى .

تمرينات

١ - في المثال صفحة (٢٠٣) حسبت سعة المكثف فوجدت $(C=8{,}35\,\mu F)$ بيّن كيفية تغير القيم إذا استخدم مكثف سعته $10\,\mu F$.

٢ - عند وصل ملف ومكثف على التوالي يمكن أن يكون الجهد الكلي أصغر من الجهود الجزئية . فسر ذلك .

٣ - ماذا يقصد برنين التوالي (رنين الجهد) ؟

٤ - أين يستخدم رنين التوالي عمليا؟

٥ - في دائرة تيار متردد $U=100\,V$ وصل ملف ذو $L=0{,}1\,H$ و $R=1\,\Omega$ على التوالي مع مكثف $C=10\,F$. احسب
أ) تردد الرنين وشدة التيار المصاحبة له
ب) مقدار التيار المصاحب لترددات متناقصة تدريجيا عن تردد الرنين حتى $f=100\,Hz$ ومتزايدة عنه حتى $f=200\,Hz$ وذلك على خطوات مناسبة . وَقِّع قيم f أفقيا وقيم I رأسيا وارسم المنحنى الناتج .

٦ - وُصِّل مكثف سعته 180 pF على جهد قدره 1000 V احسب
أ) كمية الشحنة المختزنة Q .
ب) شدة المجال الكهربائي E في عازل كهربائي ثخانته 0,2 mm
ج) كثافة الإزاحة D لمساحة طبقة سطح فعالة قدرها $0{,}6\,cm^2$
د) معامل العازل النسبي ε_r .

٧ - يتصل كل من R و L و C بالقيم : $R=50\,\Omega$ و $L=0{,}12\,H$ و $C=50\,\mu F$ على التوالي بمصدر جهد $U=220\,V$ و $f=50\,Hz$.
المطلوب حساب X_L و X_C و Z و I_R و I_L و I_C و I_t و φ و P و S و Q وكذلك رسم مخطط المتجهات للتيار والجهد .

١١-٢ توصيل عناصر مختلفة على التوازي

عند التوصيل على التوازي تكون جميع المقاومات متصلة على نفس الجهد. لذلك يختار متجه الجهد ككمية إسنادية عند رسم مخطط المتجهات لإيجاد التيارات الجزئية، وهنا يجب مراعاة أن التيار الفعال I_a يجب أن يتوافق في الطور مع الجهد U، وبينما يتأخر التيار المفاعل الحثي I_L عن الجهد بمقدار 90°، يجب أن يتقدم التيار المفاعل السعوي I_C عن الجهد بمقدار 90°. وإذا ما احتوى مخطط المتجهات على ثلاثة متجهات للتيار على الأقل، فإن ذلك يدل على أن فروع التيار موصلة على التوازي. وتتصل المتجهات مكوّنةً مثلثا.

وإذا ما تكونت الدائرة الكلية من عدد من توصيلات التوازي موصّلة على التوالي، يكون من الأفضل إيجاد قيمة كل توصيلة على التوازي على حدة.

١١-٢-١ توصيل مقاومة فعالة على التوازي مع مفاعلة حثية

يبين شكل (٢٠٦-١) مقاومة فعالة $R = 100\,\Omega$ ومفاعلة حثية خالصة $X_L = 31{,}4\,\Omega$ موصلتين على التوازي على جهد متردد $U = 220\,V$ و 50 Hz والمراد تعيين التيارين الجزئيين I_L و I_a والتيار الكلي والمعاوقة الكلية Z ومعامل القدرة $\cos\varphi$.

طريقة الحل: نظرا لأن الجهد الكلي معلوم، فيمكن البدء بحساب التيارات الجزئية.

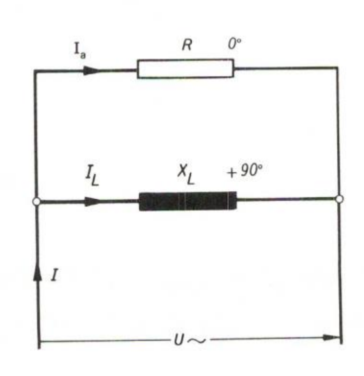
$$I_a = \frac{U}{R} = \frac{220\,V}{100\,\Omega} = 2{,}2\,A; \quad I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{220\,V}{31{,}4\,\Omega} = 7\,A$$

ويمكن بعد ذلك رسم مخطط المتجهات (شكل ٢٠٦-٢). وباختيار مقياس رسم مناسب يمكن قياس أو حساب التيار الكلي وزاوية الإزاحة الطورية.

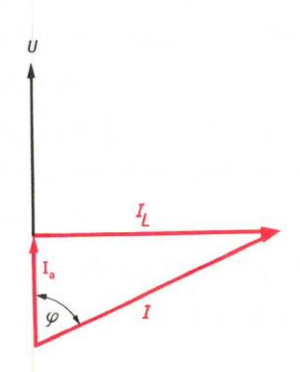
ولا يشكّل رسم مخطط المتجهات أية صعوبة، إذا كان الأمر يتعلق بتوصيل على التوازي خالص حيث يكون الجهد فيه معلوما:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_L^2} = \sqrt{(2{,}2\,A)^2 + (7\,A)^2} = 7{,}33\,A; \quad \cos\varphi = \frac{I_a}{I} = \frac{2{,}2\,A}{7{,}33\,A} = 0{,}3$$

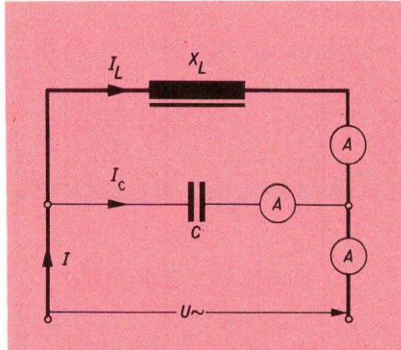
المعاوقة الكلية: $Z = \frac{U}{I} = \frac{220\,V}{7{,}33\,A} = 30\,\Omega$

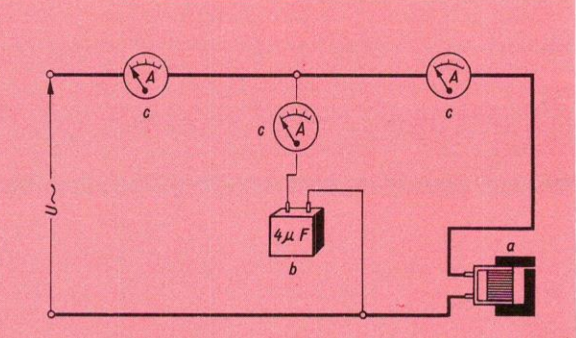


٢٠٦ - ١ المقاومة الفعالة والمفاعلة في التوصيل على التوازي.



٢٠٦ - ٢ رسم المتجهات للدائرة في شكل ٢٠٦ - ١.





التجربة ٦٩ التيار الكلي والتيارات الجزئية في ملف ومكثف موصلين على التوازي

التجهيزات : منبع جهد متردد 50 Hz و 220 V
a = ملف عدد لفاته N=1200 ذو قلب حديدي مقفل (ملف خانق)
b = مكثف C=4 μF
c = ثلاثة أمبيرمترات مجال القياس 300 mA

خطوات العمل : ١ - صِل الدائرة طبقا لترتيب التجربة .
٢ - اقرأ قيم التيار .

القراءات :

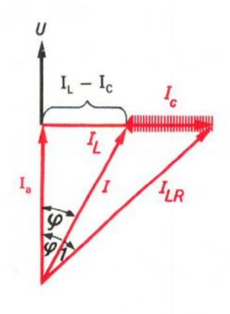
I_L	I_C	I	U
0,2 A	0,3 A	0,12 A	200 V

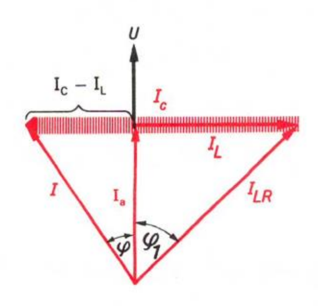
النتيجة : التيارات الفرعية (الجزئية) أكبر من التيار الكلي . والتيار الكلي ليس فقط أقل من مجموع التيارات الفرعية ، وإنما يمكن أن يكون أقل من أصغر تيار جزئي .

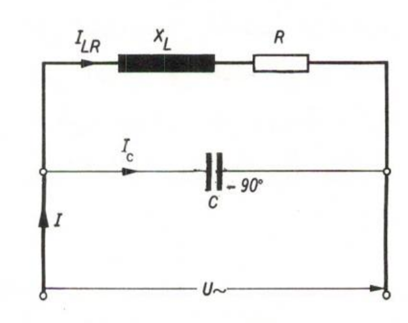
ويبين شكل (٢٠٧-١) دائرة تواز لملف ذي مقاومة فعالة ومكثف . تعيّن أولا المقاومة الكلية Z_1 (الملف والمقاومة الفعالة) . $Z_1=\sqrt{R^2+X_L^2}$. وبواسطة Z_1 يمكن حساب $I_{LR}=\frac{U}{Z_1}$. تستنتج الإزاحة الطورية بين I_{LR} و U من $\cos\varphi_1=\frac{R}{Z_1}$.

يُحلَّل التيار I_{LR} المار في المفاعلة الحثية بواسطة مثلث التيارات الى تيار فعال I_a متوافق في الطور مع U وتيار مفاعل I_L متأخر عن U بمقدار 90° (شكل ٢٠٧-٢) .

٢٠٧ - ١ توصيل ملف ذي مقاومة فعالة على التوازي مع مفاعلة سعوية خالصة .
٢٠٧ - ٢ أ) مثلث التيارات ، إذا كان I_C أكبر من I_L . ب) إذا كان I_C أصغر من I_L .







ومن هنا ينتج أن : التيار الفعال $I_a = I_{LR} \cdot \cos\varphi_1$

التيار المفاعل $I_L = \sqrt{I_{LR}^2 - I_a^2}$

يتقدم التيار المفاعل للمكثف $I_C = \frac{U}{X_C}$ عن الجهد U بمقدار 90° ، ولذا يكون مضادا في الاتجاه للتيار المفاعل الحثي I_L .

التيار الكلي $I = \sqrt{I_a^2 + (I_L - I_C)^2}$

ومعامل القدرة $\cos\varphi = \frac{I_a}{I}$.

مثال : ملف خانق فيه $R = 2\,\Omega$ و $L = 0{,}05\,H$ وُصِّل على التوازي مع مكثف سعته $C = 250\,\mu F$. إحسب التيارات الفرعية والتيار الكلي ومعامل القدرة $\cos\varphi$ إذا كان جهد المنبع المتردد هو 50 Hz و 220 V .

المعطيات : $R = 2\,\Omega;\ L = 0{,}05\,H;\ C = 250\,\mu F$

المطلوب : حساب كل من : $I_{LR}\,(A)$ و $I_C\,(A)$ و $I\,(A)$ و $\cos\varphi$.

الحل :

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2} = \sqrt{(2\,\Omega)^2 + (314 \cdot s^{-1} \cdot 0{,}05\,\Omega \cdot s)^2} = 15{,}8\,\Omega$$

$$I_{LR} = \frac{U}{Z_1} = \frac{220\,V}{15{,}8\,\Omega} = 13{,}9\,A;\ \cos\varphi_1 = \frac{R}{Z_1} = \frac{2\,\Omega}{15{,}8\,\Omega} = 0{,}126\,A$$

$$I_a = I_{LR} \cdot \cos\varphi_1 = 13{,}9\,A \cdot 0{,}126 = 1{,}77\,A$$

$$I_L = \sqrt{I^2_{LR} - I_a^2} = \sqrt{(13{,}9\,A)^2 \cdot (1{,}77\,A)^2} = 13{,}8\,A$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{1/\omega\,C} = U \cdot \omega \cdot C = 220\,V \cdot 314 \cdot s^{-1} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{s}{\Omega} = 17{,}25\,A$$

$$I = \sqrt{I^2_a + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{(1{,}77\,A)^2 + (13{,}8\,A - 17{,}25\,A)^2} = 3{,}877\,A$$

$$\cos\varphi = \frac{I_a}{I} = \frac{1{,}77\,A}{3{,}877\,A} = 0{,}456$$

١١-٢-٣ رنين التوازي أو رنين التيار

عند التوصيل على التوازي لملف ومكثف يمكن أيضا حدوث رنين . وعندئذ يكاد التيار الكلي أن يصبح صفرا وتبلغ التيارات الجزئية قيمها القصوى ، تماما كما في حالة رنين التوالي (انظر صفحة ٢٠٥) . وفي حالة رنين التوازي تنطبق أيضا العلاقة :

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

ويحدث الرنين عندما تكون $(X_C = X_L)$ أي عندما يكون $(I_C = I_L)$. ويلغي التياران المفاعلان الحثي والسعوي بعضهما بعضا ، ويصبح التيار الكلي مساويا للتيار الفعال . ويعرف توصيل ملف ومكثف على التوازي في الهندسة الإذاعية بدائرة التذبذب أو الرنين . ويكون لهذه الدائرة المقدرة على الإحتفاظ بتيار متردد لبعض الوقت في حالة الرنين عند التأثير عليها بنبضة جهد واحدة . وبينما تكون معاوقة الدائرة في حالة رنين التوالي صغيرة جدا ، تبلغ معاوقة دائرة التذبذب الناشئة عن توصيل ملف ومكثف على التوازي أقصى قيمة لها في حالة الرنين (دائرة رنين عكسي) وتكون عبارة عن مقاومة فعالة خالصة .

في حالة الرنين يكون التيار المتردد المار في الملف هو نفس تيار شحن وتفريغ المكثف .

١١-٢-٤ المكثف كمزيح للطور (كمعادل)

محرك كهربائي يعمل بالتيار المتردد قدرته $P_2 = 5\ kW$ ومعامل قدرته $\cos\varphi = 0{,}65$ وكفايته $\eta = 0{,}8$ متصل بمنبع للتيار المتردد 220 V و 50 Hz. إذا ما وصِّل مكثف على التوازي مع ملفات المحرك، فإنه يمكن بالاختيار السليم لسعة المكثف الغاء التيار المفاعل الحثي للملفات بواسطة التيار المفاعل السعوي للمكثف. ويسري في هذه الحالة التيار الفعال I_a فقط في موصل المنبع، أي أن $\cos\varphi = 1$. ويوضح حل المثال تأثير المكثف على تيار الموصل وعلى معامل القدرة.

طريقة الحل: التيار الكلي في المحرك:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{5\,000\ W}{0{,}8} = 6\,250\ W$$

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} = \frac{6\,250\ W}{220\ V \cdot 0{,}65} = 43{,}7\ A$$

وينقسم الى التيار الفعال $I_a = I \cdot \cos\varphi = 43{,}7\ A \cdot 0{,}65 = 28{,}4\ A$

والتيار المفاعل $I_L = \sqrt{I^2 - I_a^2} = \sqrt{(43{,}7\ A)^2 - (28{,}4\ A)^2} = 33{,}3\ A$

طبقا للفقرة (١١-٢-٣) يجب أن يكون تيار المكثف I_C = تيار الملف I_L، وعلى ذلك تكون سعة المكثف:

$$C = \frac{I_C}{\omega \cdot U} = \frac{33{,}3\ A}{314 \cdot s^{-1} \cdot 220\ V} = 0{,}000483\ s/\Omega = 483\ \mu F.$$

وتبلغ قدرته المفاعلة: $Q = \frac{U^2}{X_C} = U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C = 220\ V \cdot 220\ V \cdot 314\ s^{-1} \cdot 0{,}000483 \frac{s}{\Omega} = 7{,}35\ kVar$.

وتقل شدة التيار في الموصل الخارجي بمقدار: $43{,}7\ A - 28{,}4\ A = 15{,}4\ A$.

ولا تطلب محطات توليد الكهرباء سوى معادلة جزئية: $\cos\varphi = 0{,}85 \ldots 0{,}9$.

تمرينات

١ - محرك تيار متردد 500 V و 50 Hz يسحب تيارا شدته 5 A عند $\cos\varphi = 0{,}7$. فإذا وصل المحرك على التوازي مع مكثف يبلغ تياره المفاعل $I_C = 5\ A$، فما هي شدة التيار المار في الموصل الخارجي المشترك؟

٢ - في الدائرة المبيَّنة بشكل (٢٠٦-١) تم قياس القيم التالية: $I = 2\ A$; $I_a = 1{,}8\ A$; $I_L = 1{,}5\ A$. ارسم مثلث التيار واحسب $\cos\varphi$.

٣ - وصِّلت مقاومة أومية على التوازي مع محرك يعمل بالتيار المتردد 220 V و 50 Hz لتحديد قدرته، وكانت نتائج القياس كالآتي: تيار المحرك 6 A، تيار المقاومة 3 A، التيار الكلي: 7,5 A. ما مقدار القدرة التي يسحبها المحرك من المنبع؟

١٢ التيار ثلاثي الأطوار

١٢-١ التيار ثلاثي الأطوار
(مجموعة من التيارات المترددة بينها إزاحة في الطور ومترابطة* مع بعضها البعض)

١٢-١-١ النظام ثلاثي الأطوار غير المترابطة

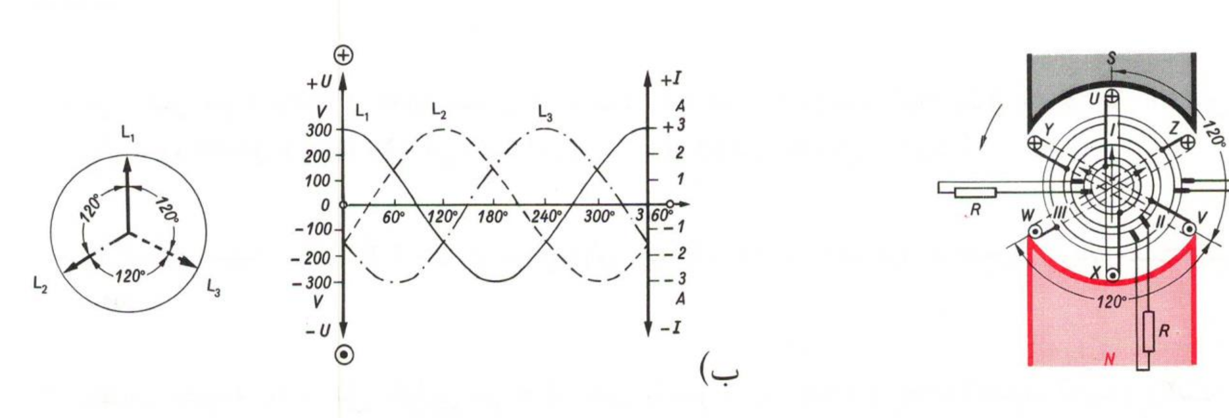
يكون إستخدام مولد الجهد المتردد أفضل لو احتوى العضو الدوار للآلة على ثلاث لفائف منفصلة عن بعضها البعض كلية بدلا من لفيفة واحدة، ويكون بين هذه اللفائف في الآلة ذات القطبين إزاحة في الفراغ بمقدار 120° (شكل ٢١٠-١أ) . وتتصل بداية ونهاية كل لفيفة بحلقتي إنزلاق . ويرمز للبدايات والنهايات الثلاث بالرموز :

الطَّوْر	I	II	III
البداية	U	V	W
النهاية	X	Y	Z

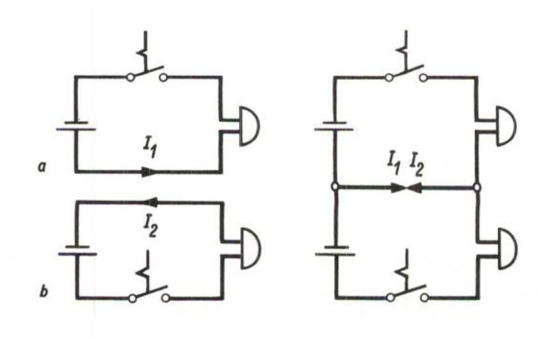
عند إدارة العضو الدوار بالطريقة المعروفة يتولد في كل لفيفة جهد متردد . وحيث أن اللفائف الثلاث متشابهة تماما وتتحرك الواحدة تلو الأخرى في المجال المغنطيسي، فإن جهدا متساويا يتولد في كل منها، ولكن الجهود تكون مزاحة عن بعضها البعض زمنيا (طوريا) بمقدار 120° أي ثلث دورة (شكل ٢١٠-١ب) .

وإذا ما وجدت مقاومة أومية في دائرة التيار لكل لفيفة (شكل ٢١٠-١أ)، يسري تيار متردد متوافق (متحد) في الطور مع جهد اللفيفة في كل من اللفائف الثلاث، أي أنه يكون بين التيارات أيضا إزاحة طورية مقدارها 120° (شكلا ٢١٠-١ب، ٢١١-٢) . ولنقل التيار المتردد من كل لفيفة يلزم موصلان، أي أنه يلزم في المجموع ستة موصلات وبالتالي ست حلقات إنزلاق .

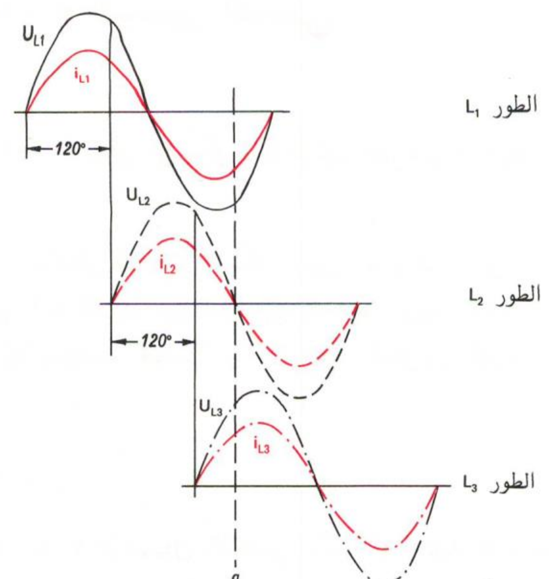
٢١٠-١ أ) يتكون عضو الإنتاج لمولد ثلاثي الأطوار - في أبسط أنواعه - من ثلاث لفائف مزاحة عن بعضها البعض بمقدار 120° . ب) المتجهات ورسم الموجات للجهود أو للتيارات الثلاثة المزاحة عن بعضها البعض طوريا بمقدار 120° .



* الأطوار المترابطة = أطوار متواصلة فيما بينها = أطوار موحدة



٢١١ – ١ يمكن أن يكون لدائرتين كهربائيتين موصل مشترك.



٢١١ – ٢ تيار متردد ثلاثي الأطوار. توجد بين الجهود المتولدة في الأطوار الثلاث في شكل ٢١٠ – ١ أ إزاحة طورية مقدارها 120°.

١٢–١–٢ من التيار ثلاثي الأطوار غير المترابطة إلى التيار ثلاثي الأطوار (التيار الدوار)

يكون إستغلال المولد ثلاثي الأطوار بطريقة أفضل من مولد الجهد المتردد البسيط، حيث أن الأجزاء التي كانت فارغة بعضو الإنتاج قد ملئت بلفائف مولدة للجهد دون زيادة ملحوظة في الفقد بالاحتكاك أو في الحديد.

وتكتسب هذه الميزة مقابل العيب الناشئ عن ضرورة نقل التيار بإستخدام ستة أسلاك وست حلقات إنزلاق، مكونة من ثلاث دوائر تيار منفصلة عن بعضها تماما (شكلا ٢١٠–١ و ٢١٢–١). وتبعا لذلك يستدعى الأمر أن تتكون شبكة الحمل من ثلاث شبكات أحادية الطور. هذا ويتبين من الدوائر المذكورة مع هذا الموضوع إمكان توفير بعض الأسلاك وحلقات الانزلاق إذا ما وصلت اللفائف المنفردة بطريقة خاصة مع بعضها البعض لتصبح مترابطة. ونظرا لأن التيار ثلاثي الأطوار يولد مجالا مغنطيسيا دوارا مع استخدام الترابط المناسب، فإنه يسمى كذلك بالتيار الدوار.

ويسمى التيار المتردد المترابط المتعدد الإزاحة الطورية بالتيار ثلاثي الأطوار. وعلى ذلك فإن التيار ثلاثي الأطوار ليس نوعا خاصا من التيارات.

تمرينات

١ – أدِرْ مخطط المتجهات (شكل ٢١٠–١ ب) حتى يقع متجه الجهد L_1 في وضع أفقي مشيرا إلى اليسار، وارسم المنحنى البياني الموجي في هذا الوضع.

٢ – بأي الألوان يرمز في التطبيق العملي للموصلات العارية في نظام التيار ثلاثي الأطوار؟

٣ – ارسم نظام التيار ثلاثي الأطوار غير المترابطة عند اللحظة a في شكل (٢١١–٢) طبقا لما في شكل (٢١٢–١) (حيث تكون $\hat{I}=10\,A$).

١٢ – ٢ التوصيل النجمي

١٢–٢–١ يمكن أن يكون لدائرتين كهربائيتين موصل مشترك

بالنظر للدائرتين الكهربائيتين a و b (شكل ٢١١–١) ندرك إمكان توحيد الموصلات المتجاورة في موصل عودة مشترك يمر فيه الفرق بين التيارين I_1 و I_2. ويعرف ذلك بترابط الدوائر الكهربائية وهو لا يغير شيئا في الجهود أو التيارات، وإنما يستخدم موصلا واحدا فقط لدائرتين كهربائيتين في آن واحد.

١٢–٢–٢ الإتصال النجمي بالسلك المحايد N وبدونه

يبين شكل (٢١٢–١) لفائف الأطوار الثلاث L_1 و L_2 و L_3 لمولد ثلاثي الأطوار مع موصلاتها الستة في الوضع اللحظي 0° في شكل (٢١٠–١ ب)، وفي هذه اللحظة يكون للجهود في الأطوار الاتجاهات المبينة في الرسم. وبينما يكون اتجاه الجهد في الطور L_1 من نهاية الطور (اللفيفة) X إلى البداية U، يكون اتجاهه في الطورين L_2 و L_3 مضادا لذلك. ويلاحظ في شكل (٢١٠–١ ب) أنه عند اللحظة 0°، يرسم الجهد U_{L1} إلى أعلى والجهدان U_{L2} و U_{L3} إلى أسفل. كما يلاحظ أيضا بوضوح أن محصِّلة المجموع الكلي للجهود الثلاثة تعطي صفرا. وطبقا لمقياس الرسم المختار هناك فقد وصل الجهد U_{L1} إلى قيمته العظمى 300 V+ وكانت القيمة اللحظية لكل من الجهدين U_{L2} و U_{L3} هي 150 V– ويمكن إجراء دراسات مماثلة عند أية لحظة أخرى من الزمن.

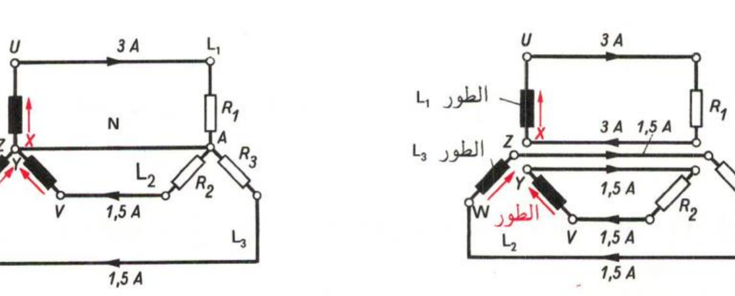
ملاحظة: إذا وجدت لفائف الأطوار الثلاث لنظام تيار ثلاثي الطور بحيث يكون بينهما إزاحة بمقدار 120° فإن مجموع كل الجهود عند أية لحظة يساوي صفرا.

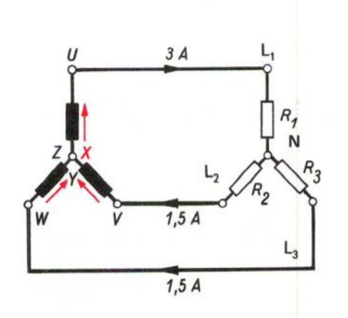
في شكل (٢١٢–١) تحمّل كل من لفائف الأطوار الثلاث بمقاومة أومية (حمل) لكل منها نفس قيمة المقاومة $(R_1 = R_2 = R_3)$. ولما كان التيار والجهد في التحميل الأومي متوافقين في الطور، فإنه يمكن أن يصبح الرسم البياني الموجي (شكل ٢١٠–١) ممثلا أيضا لتيارات التحميل، أي أن مجموع التيارات عند أية لحظة يساوي أيضا صفرا. وإذا أخذ مقياس الرسم في شكل (٢١٠–١ ب) كأساس، فإن شدة التيار في لفيفة الطور في اللحظة 0° تبلغ 3 A+ ويسري في كل من لفيفتي الطورين الأخريين تيار شدته 1,5 A–.

٢١٢ – ١ لنقل التيار ثلاثي الأطوار بلفائف غير مرتبطة ببعضها يلزم استعمال ستة موصلات.

٢١٢ – ٢ اتصال نجمي بالموصل المحايد.

٢١٢ – ٣ اتصال نجمي بدون الموصل المحايد.





ويمكن إجراء دراسات مماثلة إذا ما استخدمت عناصر لها خاصية حثية أو سعوية بدلا من المقاومات الأومية، وذلك فقط بشرط أن تكون الأطوار الثلاث متساوية في قيمة المقاومة.

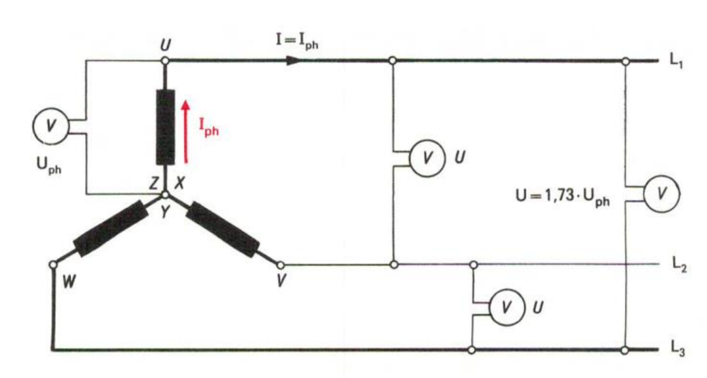
ملاحظة: إذا وضعت لفائف الأطوار الثلاث لنظام ثلاثي الأطوار بحيث يكون بينها إزاحة قدرها 120° وحمّلت بمقاومات من نفس النوع ولها نفس القيمة، فإن مجموع التيارات عند أية لحظة يكون مساويا للصفر.

يمكن التوفير في معدن الموصل في شكل (٢١٢-٢)، إذ يمكن إستبدال الموصلات الثلاثة الواصلة لنهايات لفائف الأطوار X و Y و Z بموصل مشترك يسمى بالموصل المحايد N، وبذا تترابط نهايات الأطوار X و Y و Z وتتحد نهايات الأحمال عند النقطة A (شكل ٢١٢-٢). ونظرا لأنه يشبه شكل النجمة فقد سُمِّي بالتوصيل النجمي. ويكون شكل (٢١٢-٢) تبعا لذلك توصيلاً نجميا بالموصل المحايد. أما الشبكة نفسها فيطلق عليها إسم شبكة تيار ثلاثي الأطوار ذات أربعة موصلات. ولما كان مجموع التيارات المارة في الموصل المحايد N في حالة التحميل المتساوي للأطوار الثلاث يساوي صفرا، فإن N يكون زائدا عن الحاجة، وبذلك نحصل على توصيل نجمي بدون الموصل المحايد (شكل ٢١٢-٣) ويطلق على الشبكة إسم شبكة تيار ثلاثي الأطوار ذات ثلاثة موصلات.

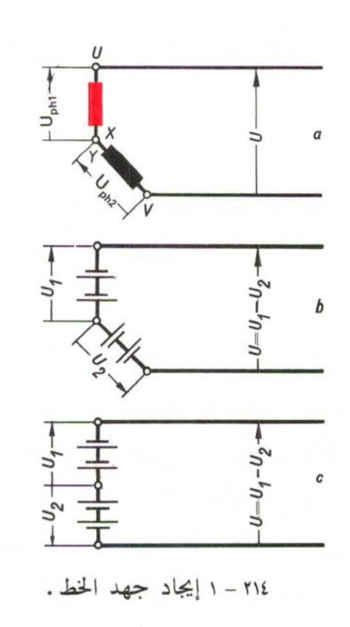
ملاحظة: في التوصيل النجمي ترتبط نهايات لفائف الأطوار الثلاثة X و Y و Z مع بعضها البعض.

١٢-٢-٣ علاقات التيارات والجهود في التوصيل النجمي بدون الموصل المحايد

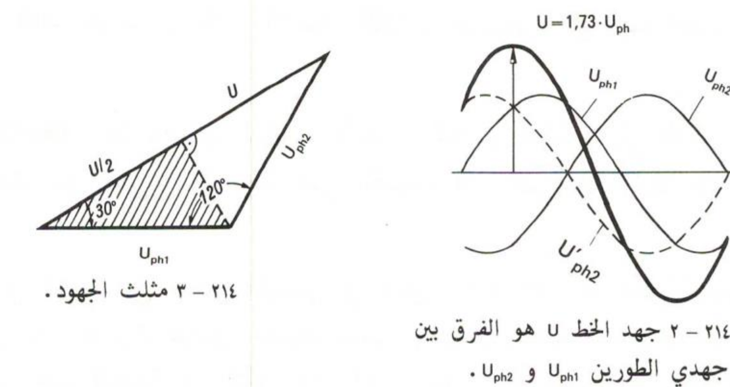
بربط لفائف الأطوار الثلاثة للمولد ينشأ التوصيل النجمي من الدوائر الكهربائية الثلاث المستقلة (شكل ٢١٣-١). بذلك يوجد بالإضافة إلى جهد الطور U_{ph} جهد آخر بين كل موصلين خارجيين ويسمى هذا بجهد الخط U (شكل ٢١٣-١). وجهد الخط هو الفرق بين جهدي طورين. ولإدراك ذلك، سنفحص كلا من لفيفتي الطورين (U-X) و (V-Y) (شكل ٢١٤-١أ). فإذا افترضنا اتجاهات الجهود المبينة في شكل (٢١٢-١)، فإن الجهد في لفيفة الطور (U-X) يتجه من النهاية X إلى البداية U، والجهد في لفيفة الطور (V-Y) يتجه من البداية V إلى النهاية Y. ويؤثر الجهدان في اتجاهين متضادين، ويوجد جهد الخط (U) بين الطرفين U و V؛ $U=(U \leftarrow X)+(V \rightarrow Y)$ أي الفرق بين جهدي الطورين.



٢١٣-١ علاقة التيارات والجهود في اتصال نجمي بدون الموصل المحايد N.



٢١٤ – ١ إيجاد جهد الخط .



٢١٤ – ٢ جهد الخط U هو الفرق بين جهدي الطورين U_{ph1} و U_{ph2} .

٢١٤ – ٣ مثلث الجهود .

ويمكن فهم ذلك بوضوح أكثر لو تخيّلنا استبدال لفائف الأطوار المولِّدة للجهد بخلايا جهد ، وهذا مسموح به لدراسة لحظة واحدة فقط ويجري توصيل الخلايا في نفس اتجاهات الجهود في شكل (٢١٤–١أ) كما ترسم في نفس الأوضاع لإعطاء رؤية أفضل (شكلا ١٢٤–١ ب ، ج) . ويلاحظ من توصيل الخلايا أن الجهد U يجب أن يساوي الفرق بين قيمتي الجهدين U_1 و U_2 . إلا إنه لا يسمح في حالة التيار ثلاثي الأطوار بإتباع نفس هذا الأسلوب نظرا لوجود إزاحة طورية بين جهدي الطورين قدرها 120° . وعلى ذلك فيجب طرح الموجة الجيبية U_{ph2} من الموجة U_{ph1} (شكل ٢١٤–٢) . وفي هذه الحالة يجب مراعاة الإشارات مراعاة تامة فعند طرح كمية من أخرى تعكس إشارتها ثم تجمع الكميتان . ويكون عكس الإشارة الموجبة U_{ph2} بطريقة بسيطة بأن تقلب الموجة كما هو مبين بالمنحنى المنقَّط في شكل (٢١٤–٢) . وعندئذ يجمع U_{ph1} و U_{ph2} للحصول على قيمة جهد الخط U (شكل ٢١٣–١) وبالقياس نجد أن : $U = 1{,}73 \cdot U_{ph}$ ويمكن الحصول على قيمة جهد الخط U أيضا من مثلث الجهود المتكون من جهدي الطورين U_{ph1} و U_{ph2} وزاوية الطور 120° (شكل ٢١٤–٣) :

$$\cos 30° = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{U/2}{U_{ph1}}$$

$$\frac{U}{2} = U_{ph1} \cdot \cos 30° \qquad \text{أو} \quad U = 2\,U_{ph1} \cdot \cos 30°$$

وحيث أن : $\cos 30° = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3}$

فإن : $U = 2\,U_{ph1} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3}$

وبصفة عامة فإن : $U = \sqrt{3} \cdot U_{ph}$ $U = 1{,}73\,U_{ph}$

ملاحظة : يبلغ جهد الخط في التوصيل النجمي للنظام الثلاثي الأطوار المتماثل 1,73 مرة من جهد الطور (الوجه) .

جهد الطور القياسي هو ($U_{ph} = 220$ V) وتبعا لذلك يكون جهد الخط : $U = 1{,}73 \cdot 220\ V = 380\ V$.

ملاحظة : في التوصيل النجمي بدون الموصل المحايد يتوافر للأحمال جهد الخط U فقط .

لكل من تيار الطور (الوجه) وتيار الخط نفس القيمة (شكل ٢١٣-١) .

يمر التيار في لفيفة الطور ثم الخط الموصل على التوالي ، وحيث أنه ليس هناك تفرع للتيار إلى الداخل أو الخارج فإن شدة التيار I_{ph} في لفيفة الطور تساوي تماما شدة تيار الخط I .

$$I = I_{ph}$$

ملاحظة : يمكن توصيل أحمال نجمية التوصيل على شبكة تيار ثلاثي الأطوار نجمية التوصيل بدون الموصل المحايد فقط إذا تساوى تحميلها لكل من الأطوار الثلاثة للمولد .

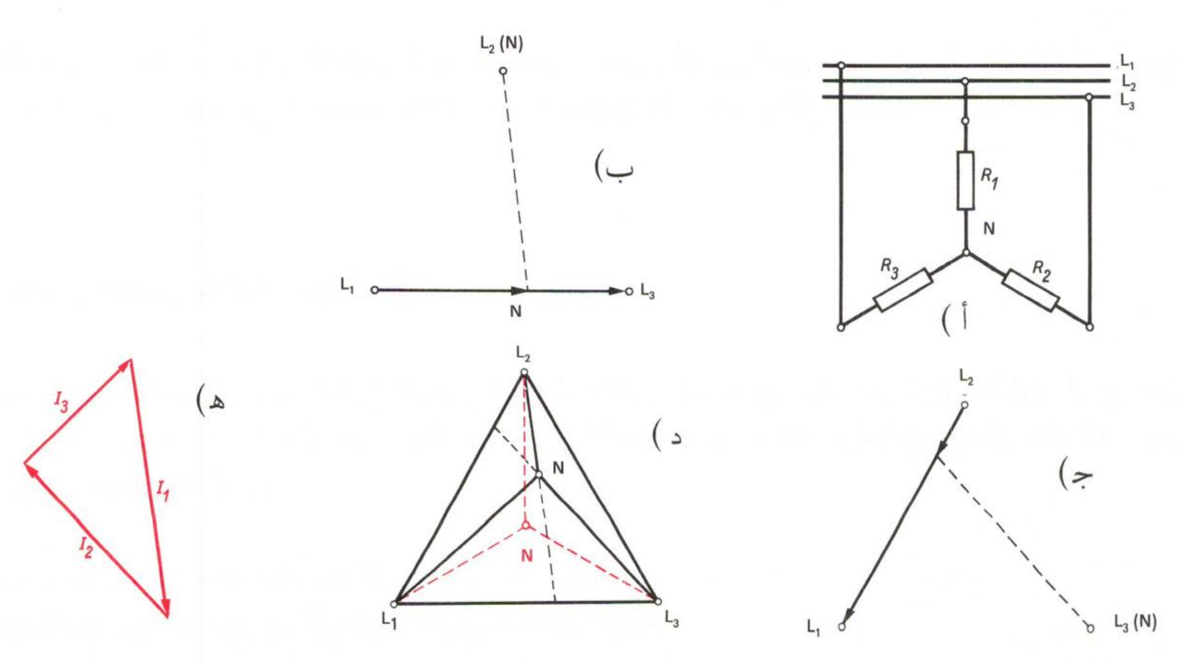
ويكون التحميل متساويا إذا وصلت مقاومات التسخين الثلاث المتساوية المقدار لفرن تسخين يعمل بالتيار ثلاثي الأطوار مثلا على الشبكة (يماثل شكل ٢١٢-٣) . ويحقق المحرك ثلاثي الأطوار المحتوي على عضو ثابت بثلاث لفائف أطوار متساوية تلك الشروط أيضا .

إذا كان حمل الشبكة حملا نجمي التوصيل غير متساوي التحميل تنحرف ما تسمى بنقطة التفرع النجمي (N) للحمل ، أي أن توزيع الجهد على المقاومات المختلفة يكون غير متساوٍ . وبذلك يمكن أن يوجد تحميل جهد عالي ذو أثر ضار على المقاومة الأقل .

مثال : حمّلت شبكة تيار ثلاثي الأطوار $3 \cdot 380\ V$ بدون الموصل المحايد تحميلا غير متساو بثلاث مقاومات أومية موصلة نجميا $R_1 = 10\ \Omega$ و $R_2 = 20\ \Omega$ و $R_3 = 30\ \Omega$ احسب قيم الجهود الموجودة على المقاومات المختلفة وقيم التيارات الناتجة؟ (شكل ٢١٥-١ أ) .

الحل : بفرض أن قيمة المقاومة R_1 لانهائية فإن المقاومتين R_2 و R_3 تكونان عمليا موصلتين على التوالي على جهد الخط $U_{L_1L_3} = 380\ V$. وطبقا للقوانين المعروفة فإن الجهد على المقاومة R_3 يكون $U_{L_1N} = 380\ V \cdot 30/50 = 228\ V$ ويكون الجهد الواقع على R_2 وهو $(U_{NL_3} = 380\ V \cdot 20/50 = 152\ V)$. وهذه القيم موقّعة في شكل (٢١٥-١ ب) بمقياس الرسم .

٢١٥ - ١ الأشكال الخاصة بالمثال .



$I=I_{ph}$
U
I_{ph}
Z X
Y
W V
L_1
L_2
L_3

٢١٦ – ١ يجب أن توصل الأحمال التي تكون غير متساوية بين موصلين خارجين في الشبكة ذات الموصلات الثلاثة . ويسمح لجهد الشبكة فقط بأن يكون 3·220 V عند التحميل بمصابيح إضاءة .

وبالعكس إذا فرضنا أن مقدار المقاومة R_1 يساوي صفراً ، فإن المقاومة R_3 تكون واقعة بين الطرفين L_1 و L_2 والمقاومة R_2 بين L_2 و L_3 ، أي أن كل من هاتين المقاومتين موصلة على 380 V . وبذا تنطبق نقطة النجمة N على الطرف L_2 (شكل ٢١٥–١ ب) . ومن السهل إدراك أنه عندما تكون قيمة المقاومة R_1 واقعة بين الصفر وما لا نهاية ، يجب أن تقع N في مكان ما على الخط المتقطع الواصل ما بين L_2 و N (شكل ٢١٥–١ ب) .

وباتباع نفس طريقة التفكير مع المقاومة R_2 – على سبيل المثال – نجد أنه عندما تساوي المقاومة R_2 مالا نهاية تكون المقاومتان R_1 و R_3 متصلتين على التوالي على $U_{L_1L_2}=380\ V$ ويظهر على المقاومة R_3 فرق جهد تبعا لذلك : $U_{L_1N}=380\ V\cdot 3/4=285\ V$. ويقع على المقاومة R_1 : $U_{NL_2}=380\ V\cdot 1/4=95\ V$.

وعندما تساوي المقاومة R_1 صفرا تنطبق L_3 على N . ويبين شكل (٢١٥–١ ج) مرة أخرى الخط المتقطع الذي يجب أن تقع عليه نقطة النجمة لقيمة اختيارية للمقاومة R_2 . ونتيجة لذلك يكون الوضع الحقيقي لنقطة النجمة N هو نقطة تقاطع الخطين المستقيمين . ويطبق (شكل ٢١٥–١ ب) لهذا الغرض على شكل (٢١٥–١ ج) معطيا شكل (٢١٥–١ د) . ويطلق على هذه الحالة اسم تحميل غير متزن (غير متساوي) ، وتكون نقطة النجمة N مزاحة . N (أحمر) = تحميل متزن ، N (أزرق) = تحميل غير متزن . وتقاس الجهود الواقعة على المقاومات المختلفة تبعا لمقياس الرسم . ويقع الجهد $U_{L_1N}=248\ V$ على المقاومة R_3 والجهد $U_{L_2N}=254\ V$ على R_2 والجهد $U_{L_3N}=147\ V$ على المقاومة R_1 .

قيم التيار : $I_1=\frac{147\ V}{10\ \Omega}=14{,}7\ A;\ I_2=\frac{254\ V}{20\ \Omega}=12{,}7\ A;\ I_3=\frac{248\ V}{30\ \Omega}=8{,}27\ A$.

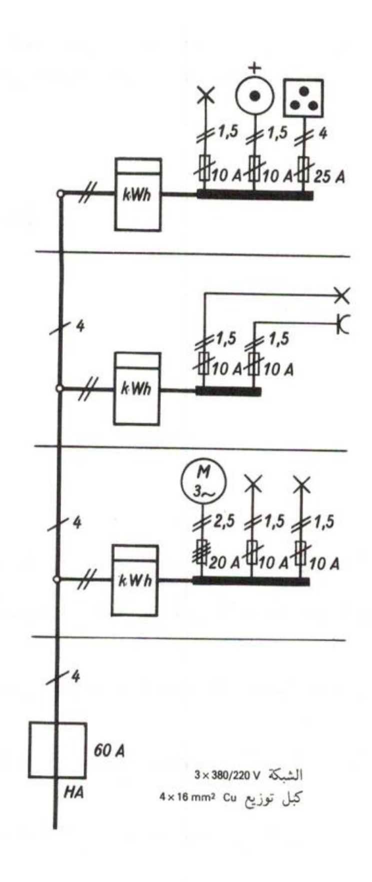
وإذا كان الحل صحيحا فيجب أن تعطي التيارات الثلاثة مثلثا مقفلا إذا رسمت متتابعة طبقا للإتجاه والمقدار بمقياس الرسم ، أي يجب أن يكون مجموعها صفرا (شكل ٢١٥–١ هـ) . أما إذا كانت المقاومات الثلاثة مصمّمة لجهد 220 V ، فإن تحميل المقاومتين R_2 و R_3 يكون زائداً ، حيث تأخذ المقاومة R_2 عندئذ 3 220 W بدلا من 2 420 W وتأخذ المقاومة R_3 عندئذ 2 060 W بدلا من 1613 W . وعلى العكس من ذلك تأخذ المقاومة R_1 المقدار 2 160 W بدلا من 4 840 W .

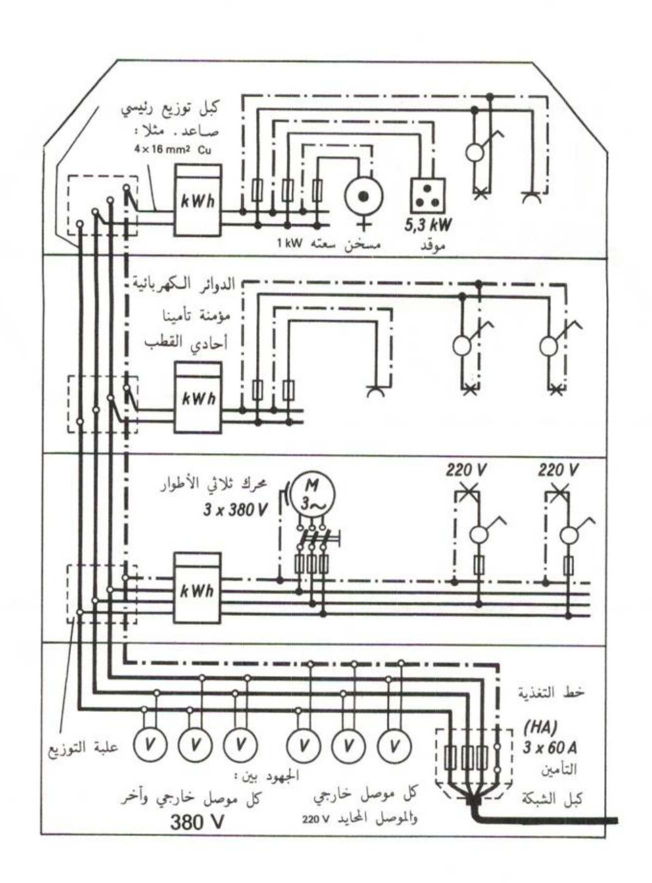
ملاحظة : في شبكة التيار الثلاثي الأطوار النجمية التوصيل بدون الموصل المحايد يجب توصيل الأحمال التي توصل أو تفصل بطريقة اختيارية (مصابيح الإضاءة مثلا) ، بين الموصلات الخارجية (شكل ٢١٦–١) .

١٢–٢–٤ التوصيل النجمي بإستعمال الموصل المحايد

إذا وصل الموصل المحايد إلى نقطة التفرع النجمي للفائف الأطوار الثلاثة في مولد تيار ثلاثي الأطوار أو في محول ثم تم توصيله إلى المستهلك ، فإننا نحصل على شبكة تيار ثلاثي الأطوار ذات أربعة موصلات (شكل ٢١٨–١) . وبذلك يتوافر للمستهلك جهدان مختلفان :

أ) جهد الخط $U=1{,}73\ U_{ph}$ الواقع بين كل موصلين خارجيين .
ب) جهد الطور U_{ph} الموجود بين كل خط خارجي والموصل المحايد .





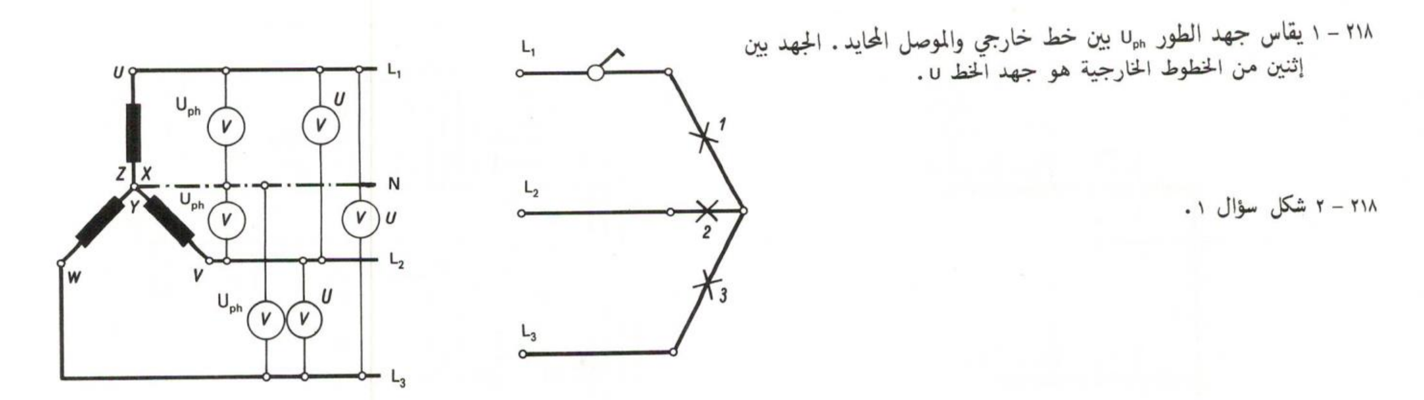
٢١٧ - ١ شبكة تيار ثلاثي الأطوار ذات أربعة موصلات في منزل تقطنه عدة أسر . توزع دوائر التيار المتردد على الخطوط الخارجية المختلفة لتحقيق التوزيع المتساوي . توصل الأحمال الصغيرة بين الخط الخارجي و N ، والكبيرة بين الخطوط الخارجية .

تتوافر إمكانيات التوصيل الآتية في شبكات توزيع التيار الثلاثي الأطوار التي تعمل بجهد 380/220 V :

أ) المحركات ثلاثية الأطوار والأحمال ذات القدرات العالية ، كأفران التسخين ثلاثية الأطوار وسخانات المياه بقدرة 18 kW والمواقد الكهربائية . . . إلخ . ويمكن توصيلها على الموصلات الخارجية الثلاثة معا .

ب) توصيل منشآت الإضاءة والأجهزة المنزلية والأدوات الكهربائية والمحركات الصغيرة التي تعمل بالتيار المتردد والأحمال الصغيرة الأخرى ، بين الموصل الخارجي والموصل المحايد (شكل ٢١٧-١) .

وغالبا ما يوصل الموصل المحايد بالأرض ، أي أنه يمكن الحصول على جهد الطور بَيْن الموصل الخارجي والأرض . وإذا استخدم الموصل المحايد في إجراءات الوقاية من الصدمة الكهربائية ، أي إذا استخدم لمعادلة المحركات والأجهزة ، فإنه لا يسمح بتوصيله بمصهر للحماية من زيادة التيار . ويجب عزل الموصل المحايد مثل الموصلات الخارجية في منشآت مستهلكي الكهرباء ، كما يجب مده بنفس العناية وفي نفس الغلاف المشترك في حالة المد في أنابيب أو مد الخطوط المتعددة الأسلاك . ولا يسمح بفصل الموصلات المحايدة ولو كانت بمفردها .



٢١٨ – ١ يقاس جهد الطور U_{ph} بين خط خارجي والموصل المحايد. الجهد بين إثنين من الخطوط الخارجية هو جهد الخط U.

٢١٨ – ٢ شكل سؤال ١.

تمرينات

١ – وصلت ثلاثة مصابيح توصيلا نجميا (شكل ٢١٨–٢). ماذا يحدث للمصباحين 2 و 3 إذا فصل المصباح 1؟ استنتج طبقا للنتيجة، إذا ما كان لاستخدام التوصيل النجمي بدون الموصل المحايد مزايا في شبكات الإنارة.

٢ – متى يسمى الموصل المحايد N أيضا بموصل التعادل؟

٣ – علِّل لماذا لا يسمح بتوصيل الموصل المحايد عن طريق مصاهر؟

٤ – اشرح لماذا تلزم عناية قصوى عند مد الموصل المحايد.

٥ – ما هي الأخطاء التي يمكن حدوثها إذا حُمِّل الموصل المحايد جهدا؟

٦– ما هو اللون الواجب إستخدامه لسلك التعادل المعزول؟

٧ – بيِّن عدد الدوائر الممكنة والجهود المتاحة في شبكة تيار ثلاثي الأطوار ذات أربعة موصلات.

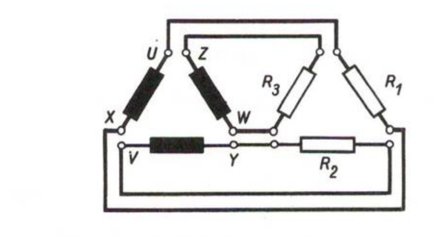
١٢–٣ التوصيل المثلثي (توصيل دلتا)

١٢–٣–١ توصيل لفائف الأطوار الثلاثة في التوصيل المثلثي على شكل حلقة مع بعضها البعض

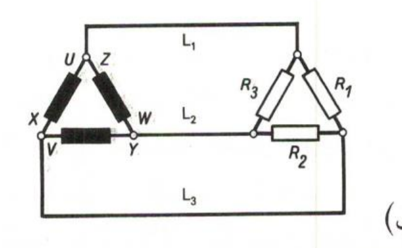
تكون الأطوار في التوصيل المثلثي موصلة على هيئة مثلث (شكل ٢١٨–٣أ)، وفي شكل (٢١٨–٣ب) يتحد كل موصلين متجاورين في موصل واحد. وعلى ذلك توصل نهاية لفيفة الطور الأول X مع بداية لفيفة الطور الثاني V، ونهاية لفيفة الطور الثاني Y مع بداية لفيفة الطور الثالث W، ونهاية لفيفة الطور الثالث Z مع بداية لفيفة الطور الأول U، فنحصل على لفيفة مقفلة. وتتلاشى الشكوك في أن لفائف الأطوار تكون دائرة قصر بالنظر مرة أخرى إلى شكل (٢١٠–١). يكون مجموع الجهود مساويا للصفر، إذا لم يمر تيار في الأطوار.

ملاحظة: لا يسري تيار قصر في الدائرة في حالة التوصيل الصحيح على التوالي.

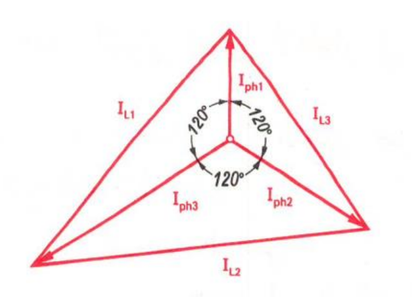
٢١٨ – ٣ اتصال مثلثي
أ) غير مترابط.
ب) مترابط.



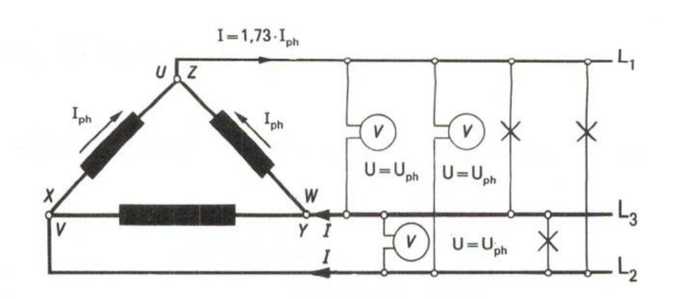
أ)



ب)



٢١٩ – ٢ تمثيل بالرسم لحل المثال ٢.



٢١٩ – ١ مولد في الاتصال المثلثي، كل اللفائف محملة.

١٢–٣–٢ علاقات التيار والجهد في التوصيل المثلثي

يتصل أي موصلين دائما بلفيفة طور واحدة، لذلك فإن الجهد U بين كل موصلين خارجيين يساوي تماما الجهد U_{ph} الموجود على لفائف الأطوار المختلفة (شكل ٢١٩–١).

$$U = U_{ph}$$

ويمكن تكوين ثلاث دوائر تيار بالموصلات الخارجية الثلاثة الموجودة. وإذا حملت الشبكة على كل طور، فيكون أحد الموصلات أثناء لحظة ما هو موصل ذهاب والآخران موصلي رجوع، ولكن يكون الموصل الثاني في لحظة تالية هو موصل ذهاب والأول والثالث موصلي رجوع ... إلخ.

وحيث أن تيارات الأطوار بينها إزاحة طورية قدرها 120°، فإنه يمكن تعيين علاقة I مع I_{ph} أيضا بواسطة رسم الموجتين كما في شكل (٢١٤–٢).

$$I = 1,73 \cdot I_{ph}$$

مثال ١: ما مقدار تيارات الموصلات I_{L1} و I_{L2} و I_{L3} إذا حملت الشبكة ذات الثلاثة موصلات 3· 380 V بالتساوي بمقاومات التحميل الأومية الثلاث R_1 و R_2 و R_3 المبينة في شكل (٢١٨–٣) وكانت القدرات هي $(P_1=P_2=P_3=1\ kW)$؟

المعطيات: $P_1=P_2=P_3=1000\ W;\ U=3 \cdot 380\ V\ \Delta$

المطلوب: حساب كل من: I_{L1} و I_{L2} و I_{L3} بالأمبير.

الحل: بالنسبة إلى المقاومة R_1 يكون:

$$I_{ph}=\frac{P_1}{U}=\frac{1000\ W}{380\ V}=2,63\ A;\ I_{L1}=I_{ph1}\cdot 1,73=4,55\ A$$

تصلح هذه القيم أيضا للمقاومتين R_2 و R_3 في التحميل المتساوي.

مثال ٢: ما مقدار تيارات الموصلات في مثال (١)، إذا حملت الشبكة تحميلا غير متساو؟ المقاومة R_1 تأخذ $P_1=1\ kW$ والمقاومة R_2 تأخذ $P_2=1,5\ kW$ والمقاومة R_3 تأخذ $P_3=3\ kW$.

الحل:
تيار الطور في المقاومة R_1: $I_{ph1}=P_1 \div U=1\ 000\ W \div 380\ V=2,63\ A$
تيار الطور في المقاومة R_2: $I_{ph2}=P_2 \div U=1\ 500\ W \div 380\ V=3,95\ A$
تيار الطور في المقاومة R_3: $I_{ph3}=P_3 \div U=2\ 000\ W \div 380\ V=5,25\ A$

يسري التيار I_{L1} في الموصل الخارجي L_1: $I_{L1}=I_{ph1} \dotplus I_{ph3}$*
ويسري التيار I_{L2} في الموصل L_2: $I_{L2}=I_{ph3} \dotplus I_{ph2}$
ويسري التيار I_{L3} في الموصل L_3: $I_{L3}=I_{ph1} \dotplus I_{ph2}$
ويعطي الحل بالرسم $I_{L1}=7\ A;\ I_{L2}=5,8\ A;\ I_{L3}=8\ A$

يستخدم مثلث التيار للتأكد من الحل: يجب أن يكون مجموع التيارات في الموصلات الخارجية الثلاثة صفرا، لأنها تكوّن مثلثا مغلقا (شكل ٢١٩–٢)، وإلا فإن تيارا موازنا ضارا يمكن أن يمر في لفائف المولد.

* $\dotplus$ الجمع جمعا هندسيا

١٢-٤ قدرة التيار ثلاثي الأطوار في التوصيل النجمي والتوصيل المثلثي

تساوي قدرة التيار ثلاثي الأطوار مجموع قدرات التيار المتردد في الأطوار الثلاثة. وعندما يكون تحميل الأطوار متماثلا تبلغ القدرة في حالة:

التوصيل النجمي

$P = 3 \cdot U_{ph} \cdot I \cdot \cos\varphi$

ولأن $U_{ph} = \frac{U}{1,73}$

يصبح $P = 3 \cdot \frac{U}{1,73} \cdot I \cdot \cos\varphi$

$$P = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

التوصيل المثلثي

$P = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$

ولأن $I_{ph} = \frac{I}{1,73}$

يصبح $P = 3 \cdot U \cdot \frac{I}{1,73} \cdot \cos\varphi$

$$P = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

ولذلك فإن معادلة القدرة تصلح لكل من التوصيل النجمي والتوصيل المثلثي، مع ضرورة الانتباه إلى أن U و I تدلّان على الجهد والتيار في الموصل الخارجي.

مثال ١: ما مقدار القدرة التي يأخذها محرك ثلاثي الأطوار، إذا وصل على جهد خط قدره 380 V ويسحب تيارا شدته 12 A وكان معامل القدرة $\cos\varphi = 0,8$؟

المعطيات: $U = 380\ V;\ I = 12\ A;\ \cos\varphi = 0,8$

المطلوب: حساب القدرة P بوحدة (kW).

الحل: $P = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = 1,73 \cdot 380\ V \cdot 12\ A \cdot 0,8 = 6,3\ kW$

مثال ٢: محرك ثلاثي الأطوار قدرته 5 kW مصمّم لجهد 380 V كفايته $\eta = 0,8$ ومعامل قدرته $\cos\varphi = 0,85$. ما هي شدة التيار الذي يسحبه المحرك عند الحمل الإسمي؟

المعطيات: $P_2 = 5\ kW;\ U = 380\ V;\ \eta = 0,8;\ \cos\varphi = 0,85$

المطلوب: حساب شدة التيار (I) بوحدة (A).

الحل: $I = \frac{P_2}{1,73 \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{5\,000\ W}{1,73 \cdot 380\ V \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 11,1\ A$

مثال ٣: لوحة بيانات محرك ثلاثي الأطوار تحوي البيانات التالية: $\cos\varphi = 0,85$ و 60 A و 380 V و 30 kW. كم تبلغ كفاية المحرك؟

المعطيات: $P_2 = 30\ kW;\ I = 60\ A;\ U = 380\ V;\ \cos\varphi = 0,85$

المطلوب: حساب الكفاية (η) بالنسبة المئوية.

الحل: $\eta = \frac{P_2}{1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi} = \frac{30\,000\ W}{1,73 \cdot 330\ V \cdot 60\ A \cdot 0,85} = 0,89 = 89\%$

تمرينات

١ - وصِّلت ثلاث مقاومات متساوية تبلغ كل منها 100 Ω توصيلاً نجميا في شبكة تيار ثلاثي الأطوار 3·380 V. ما هي شدة تيارات الخطوط

٢ - يستهلك فرن تسخين ثلاثي الأطوار مصمّم لجهد 380 V قدرة تساوي 3,1 kW. احسب مقاومة كل طور إذا فرضنا أن التوصيل: أ) نجمي، ب) مثلثي.

٣ - يعمل فرن تسخين بتيار ثلاثي الأطوار 220 V ويحتوي على ثلاث مقاومات تسخين قيمة كل منها 30 Ω. احسب I و P و P_{ph} و I_{ph} و U_{ph} إذا وصلت المقاومات: أ) نجميا، ب) مثلثيا. ارسم الدائرتين وقارن القدرة الكلية في كل من التوصيل النجمي والتوصيل المثلثي.

٤ - وصّل كل من محرك ثلاثي الأطوار بياناته كالآتي: I = 20 A و U = 380 V و $\cos\varphi = 0,8$ وشبكة إنارة 6 kW موزعة بالتساوي بين الموصلات الخارجية الثلاثة والموصل المحايد N على جهد قدره 220 V عند نهاية شبكة توزيع ذات أربعة موصلات. احسب تيار الخط ومعامل القدرة.

١٣ علم القياس الـكهربائي

يعتمد الفنيون الـكهربائيون في عملهـم على أجهزة القياس ، فهي تعطي بيانات عن سير العمليات الـكهربائية كما أنه لا غنى عنها في فحص المنشـآت الـكهربائية . ويتركب جهاز القياس من ترتيبة القياس وصندوق مع توابع مركبة فيه أو متصلة به . وطبقا لتعليمات VDE 0401 ، فإن ترتيبة القياس هي الجزء الذي يحدث الانحراف اللازم للمؤشر في جهاز القياس . ويمكن أن يحتوي جهاز القياس الواحد على عدة ترتيبات قياس . وتعرف قراءة الجهاز ذي المؤشر بأنها قراءة مناظرة (شكل ٢٢٦-٣) ، لأن مقدار إنحراف المؤشر يناظر المقدار المقاس . كما تصنع أجهزة قياس ذات بيان رقمي لأغراض خاصة . ولا تحتوي هذه الأجهزة على تدريج قياس أو مؤشر ، بل إنها تعطي القيمة المقاسة رقميا . ولا يمكن الوصول - حتى بأفضل الأجهزة - إلى نتائج موثوق بها إلا بمعرفة تركيب وطريقة عمل وخواص ترتيبة القياس .

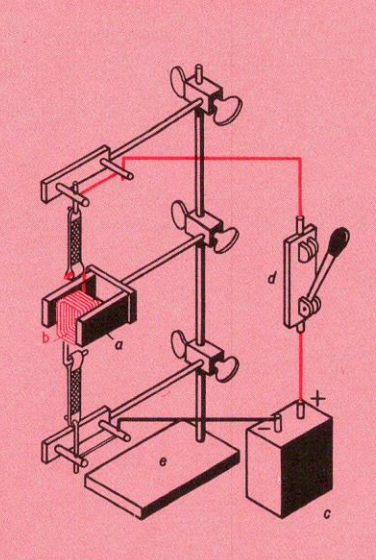
١٣-١ الأمبيرمتر ذو الملف المتحرك

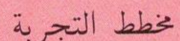
تستعمل أجهزة قياس شدة التيار بترتيبة القياس ذات الملف المتحرك في قياسـات التيار المستمر فقط .

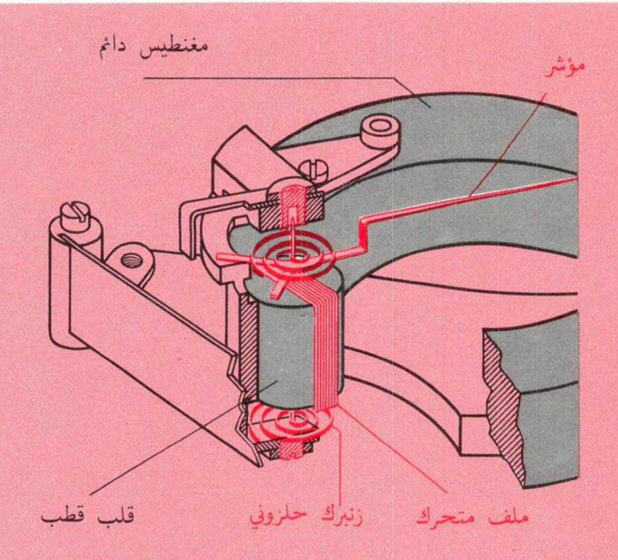
١٣-١-١ تركيب وطريقة عمل إحدى ترتيبات القياس ذات الملف المتحرك المستخدمة في التطبيق العملي

يوضع ملف يتركب من سلك دقيق معزول من النحاس وملفوف حول إطار من الألومنيوم بحيث يكون قابلا للدوران حول نقطة ارتكاز (ملف متحرك) في المجال المنتظم لمغنطيس دائم . ويحمل الملف مؤشرا يتحرك على تدريج . ولكي يكون تقسيم التدريج منتظما ، يجب أن يكون المجال المغنطيسي متسـاويا في مدى حركة الملف المتحرك ولذا يثبت قلب من مادة مغنطيسية طرية داخل الملف المتحرك في الفراغ الأسطواني الموجود بين قطبي المغنطيس ، كي يتولى توجيه المجال في اتجاه نصف قطري (شعاعي) في جميع الاتجاهات . وعند مرور التيار المراد قياسه في الملف المتحرك تنتج حركة دورانية (عزم دوران) طبقا للنظرية الأسـاسية للمحرك الـكهربائي (انظر صفحة ١٣٣) . وعندما يدور الملف يشد الزنبرك الحلزوني المصنوع من البرونز والمثبت في الملف ، ويستمر دوران الملف من وضع الاتزان حتى يصبح عزم الدوران المغنطيسي الـكهربائي للملف مسـاويا لعزم الدوران الميكانيكي المضـاد للزنبرك الحلزوني . ويقوم الزنبركان الحلزونيان بجانب ذلك بتوصيل التيار إلى الملف المتحرك .

ولكي يصل الملف مع المؤشر عند القياس إلى وضع الاتزان بأسرع ما يمكن ، يجب أن تحتوي ترتيبة القياس على مخمد للحركة . ويتم ذلك بوسيلة كهرومغنطيسية بمسـاعدة إطار مصنوع من الألومنيوم ، فيكوّن الإطار أنشوطة موصلة تولد تيارات دوامية بالحث عند تحركها وتقوم هذه التيارات بكبح الحركة . وفي أجهزة القياس الشديدة الحسـاسية يصنع الملف المتحرك بدون الإطار الألومنيومي الحامل له ، وعندئذ يبلغ وزن الملف المتحرك مع المؤشر حوالي 0,5 g فقط . ولما كان الإطار الحامل غير موجود فلا يكون خمد الحركة متوافرا عن طريق مجموعة الحركة وتقوم دائرة خاصة بتلك المهمة .







مخطط التجربة

ترتيبة قياس بملف متحرك

التجربة ٧٠ ملف حامل للتيار في مجال مغنطيسي

التجهيزات : a = مغنطيس حدوة حصان
b = ملف متحرك مكوّن من أربع لفات (سلك ألومنيوم قطره 3 mm) معلق بشرائط معدنية منسوجة .
c = منبع تيار مستمر 1...2 V
d = مفتاح
e = حامِلْ

خطوات العمل : ١ - علّق الملف المتحرك بين فكي مغنطيس حدوة الحصان بحيث يكون محوره في وضع إتزان عموديا على إتجاه المجال المغنطيسي .

٢ - صل التيار وراقب الملف

٣ - ضاعف الجهد .

٤ - إعكس أقطاب منبع الجهد ثم أكمل كما في الخطوتين (٢) و (٣) .

المشاهدة : في الخطوة (٢) : يدور الملف

في الخطوة (٣) : يكون إنحراف الملف أكبر .

في الخطوة (٤) : كما في الخطوتين (٢) و (٣) ولكن في إتجاه دوران مضاد .

النتيجة : يناسب هذا الترتيب بصفة أساسية قياسات التيار . ويعتمد إنحراف المؤشر على شدة التيار . وكلما زادت شدة التيار زاد الإنحراف . ولما كان اتجاه دوران الملف يعتمد على اتجاه التيار ، فمن الممكن إستخدام هذا النظام لقياسات التيار المستمر فقط .

وتقوم الصناعة بتحسين ترتيبات القياس باستمرار. ويسمى طراز أجهزة القياس ذات الملف المتحرك الموضح شرحه في صفحة (٢٢١) بطراز المغنطيس الحلقي ، لأن المغنطيس الدائم يكون حلقي الشكل ، وهو تطوير لطراز المغنطيس الخارجي المعتاد فيما سبق .

ويوجد طراز أحدث لترتيبة القياس ذات الملف المتحرك يحتوي على قلب من مادة فعالة مغنطيسيا توضع حوله حلقة من الحديد المطاوع متحدة معه في المركز لتقفل الدائرة المغنطيسية. وتوفر ترتيبة القياس ذات القلب المغنطيسي حيزا كبيرا (شكل ٢٢٣-١أ)، ويكون التأثير الخارجي هنا بالغ الصغر مما يجعل وضع عدة أجهزة بجوار بعضها البعض أمرا ممكنا دون أن يؤثر أحدهما على الآخر. ويبين شكل (٢٢٣-١) أشكالاً أخرى لترتيبة القياس ذات الملف المتحرك.

١٣-١-٢ العلاقة بين خواص ترتيبة القياس ذات الملف المتحرك وتركيبها

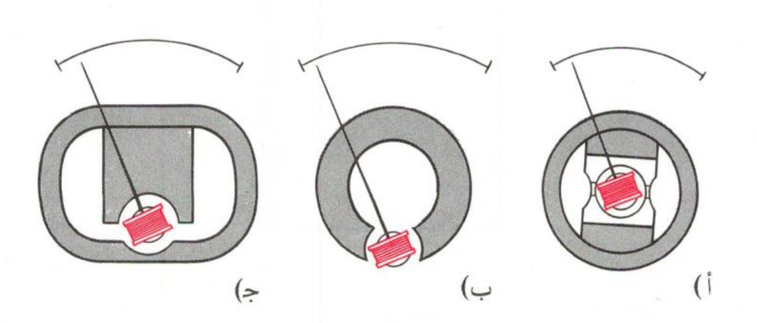
يكون التدريج منتظم التقسيم، حيث يسمح المجال المغنطيسي بانحراف تناسبي تام للملف المتحرك. ونظرا للمجال الذاتي القوي يكون للمجالات الخارجية (المجالات المغنطيسية المؤثرة من الخارج على ترتيبة القياس) تأثيرا أقل على القياسات عنه في حالة ترتيبة القياس ذات اللوح المتحرك بدون حاجب مغنطيسي (أنظر صفحة ٢٢٧). وكما توضح التجربة (٧٠)، فإن ترتيبة القياس ذات الملف المتحرك لا تصلح سوى للتيار المستمر فقط. ولما كان اتجاه انحراف المؤشر يختلف تبعا لاتجاه التيار، فيمكن استخدام هذا الجهاز أيضا لتعيين نوع الأقطاب، ولهذا الغرض تميز أطراف التوصيل لكي تلائم الهدف. وإذا لزم استعمال جهاز القياس في كلا الاتجاهين دون تعديل في التوصيل، وجب أن تقع نقطة الصفر في منتصف التدريج.

وتكون ترتيبة القياس ذات نقاط الارتكاز المدبَّبة حساسة للصدمات بصفة خاصة، ويجب ألّا تحمَّل تحميلا زائدا لأن الزنبركات البرونزية الدقيقة التي تستخدم أيضا لتوصيل التيار، تتوهج بسرعة ويمكن أن تحترق. لذلك يكثر استخدام شريط مشدود للتعليق.

يكون الاستهلاك الذاتي لأجهزة القياس ذات الملف المتحرك صغير للغاية. وتستطيع ترتيبة قياس ذات ملف متحرك من نوع مرتفع الجودة قياس تيارات تبلغ شدتها حتى 0,0001 A.

١٣-١-٣ الجلفانومتر كنوع خاص من أجهزة القياس ذات الملف المتحرك

يصبح الملف المتحرك ثقيل الحركة للغاية بالنسبة للقياسات شديدة الحساسية للتيارات البالغة الصغر مثل 0,000 000 001 A بسبب المؤشر والإرتكاز المحوري. ولتقليل الاحتكاك ولتخفيف الوزن يعلق الملف المتحرك بواسطة شريط معدني رفيع. وتحل قوة مقاومة الشريط المعدني لحركة الدوران محل الزنبركات الحلزونية الموجودة في الأنواع المعتادة. بناءً على ذلك يوصل التيار إلى الملف المتحرك بواسطة هذه الشرائط المعدنية البالغة الرقة والعديمة القوى الاتجاهية. وتثبت على الملف مرآة صغيرة يسقط عليها شعاع ضوئي بزاوية حادة ثم ينعكس على تدريج موضوع على أي بعد وبذلك يعمل كمؤشر عديم الوزن وتصبح أقل حركة للملف المتحرك مرئية بوضوح. ويكمن عيب الجلفانومتر ذي المرآة في أنه يجب معايرته من جديد قبل كل إستعمال.



٢٢٣ - ١ ترتيبة قياس بملف متحرك.
أ) ترتيبة قياس ذات قلب مغنطيسي.
ب) ترتيبة قياس ذات مغنطيس حلقي.
ج) طراز حديث لترتيبة قياس مخصصة للتركيب بلوحات التوزيع.

ليس **الجلڤانومتر ذو العلامة الضوئية** بالغ الحساسية مثل الجلڤانومتر ذي المرآة، حيث أن طول المؤشر الضوئي محدودا بسبب جهاز القياس، إلا أن المعايرة تظل قائمة.

١٣-١-٤ القياس المباشر للتيار بواسطة جهاز القياس ذي الملف المتحرك

توصل أجهزة قياس التيار على التوالي مع الحمل، فتكون واقعة في مسار التيار أثناء القياس (شكل ٢٢٤-١). ويمر التيار المطلوب قياسه مباشرة خلال ملف ترتيبة القياس.

يقيس جهاز القياس ذو الملف المتحرك تيارات بالغة الصغر فقط (من 0 mA إلى 3 mA) بطريقة مباشرة، لأن الملفات المتحركة الدقيقة الحركة تُلَفُّ من سلك نحاسي ذي قطر أقل من 0,03 mm.

١٣-١-٥ زيادة مجال قياس ترتيبة القياس ذات الملف المتحرك للتيارات الكبيرة

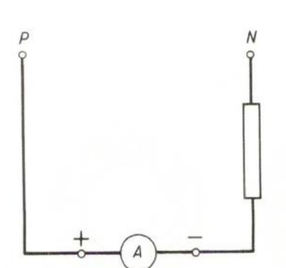
يسمح في هذه الحالة بمرور التيار الصغير I_M فقط في الملف المتحرك ويمر الجزء الأكبر الباقي من التيار $I_p=I-I_M$ في المقاومة R_p لمجزِّئ التيار الموصل مع جهاز القياس على التوازي. وتصنع مجزِّئات التيار المثبتة والحرة، أي القابلة للفصل، من مواد لا تتأثر بدرجة الحرارة كالمنجانين والكونستانتان... إلخ. وحتى يمكن استخدام مجزِّئات التيار الحرة أيضا مع أجهزة أخرى فإن هبوط الجهد فيها يجب أن يكون موحَّدا، ومقداره 60 mV و 150 mV و 300 mV. وعند استعمال مجزِّئات تيار للتيارات الكبيرة، يجب مراعاة التبريد. إذ إن القدرة المحسوبة في المقاومة R_p عند تيار 10 000 A وهبوط الجهد 60 mV تبلغ 600 W.

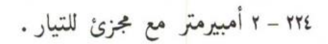
١٣-١-٦ طريقة حساب مقاومات مجزِّئ التيار

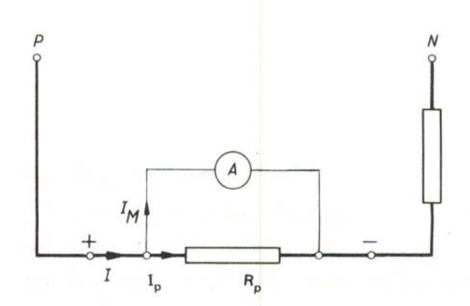
تتناسب المقاومات عكسيا مع التيارات المارة فيها في المقاومات الموصَّلة على التوازي (أنظر صفحة ٥٣).

$$\frac{R_p}{R_M}=\frac{I_M}{I_p} \qquad R_p=\frac{R_M\cdot I_M}{I_p}$$

٢٢٤ - ١ القياس المباشر للتيار.




٢٢٤ - ٢ أمبيرمتر مع مجزئ للتيار.



٢٢٥ – ١ أمبيرمتر مع مفتاح تحويل لعدد من مجالات القياس.

$R_M + R_p$ (Ω)	الوضع	مجال القياس A
20	1	0,001
0,2	2	0,1
0,02	3	1
0,004	4	5

مثال : أمبيرمتر تبلغ مقاومة قياسه الفعالة مع مقاومة التوالي غير المتأثرة بالحرارة 20 Ω (شكل ٢٣١–٢)، ومجال الانحراف الكامل فيه 3 mA، فما قيمة مقاومة مجزئ التيار، إذا لزم زيادة مجال القياس إلى 300 mA؟

المعطيات : $R_M = 20\ \Omega;\ I_M = 0{,}003\ A;\ I = 0{,}3\ A$

المطلوب : حساب قيمة مقاومة مجزِّئ التيار (R_p) بوحدة (Ω).

الحل : يمر خلال مجزِّئ التيار تيار $I_p = I - I_M = 0{,}3\ A - 0{,}003\ A = 0{,}297\ A$

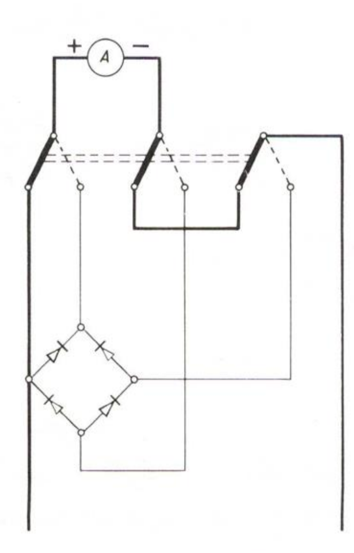
$$R_p = \frac{R_M \cdot I_M}{I_p} = \frac{20\ \Omega \cdot 0{,}003\ A}{0{,}297\ A} = 0{,}202\ \Omega$$

١٣–١–٧ ملاءمة ترتيبات القياس ذات الملف المتحرك لقياسات التيار المتردد

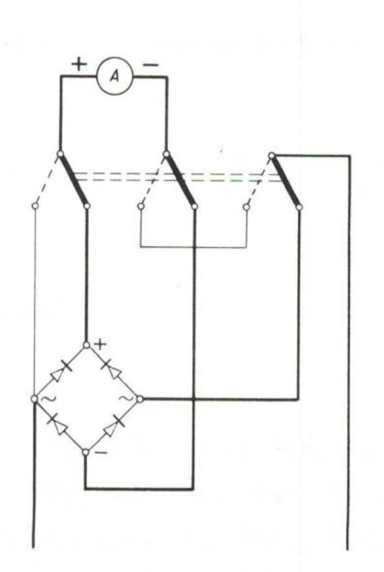
لإمكان الاستفادة من ميزة الاستهلاك الذاتي الضئيل في ترتيبات القياس ذات الملف المتحرك في قياسات التيار المتردد، يوصل مقوم معدني قبل ملف القياس. وتستخدم لهذا الغرض مقومات أكسيد النحاسوز كما تستخدم أيضا مقومات السلنيوم وحديثا مقوِّمات الجرمانيوم ومقوِّمات السليكون (شكل ٢٢٥–٢).

تعطي أجهزة القياس بمقومات التيار قيمة المتوسط الحسابي (انظر صفحة ١٧١) إلا أنه يعاد ضبط تدريجها بالقيمة الفعالة لقياس التيار المتردد (حيث تكون الموجة بشكل المنحنى الحبيبي).

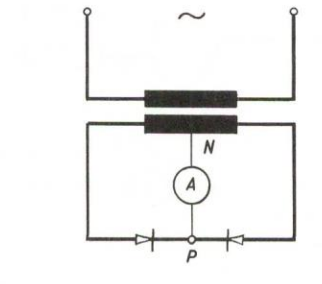
٢٢٥ – ٢ جهاز قياس ذو ملف متحرك مع مقوم تيار يصلح للتيار المستمر والتيار المتردد.



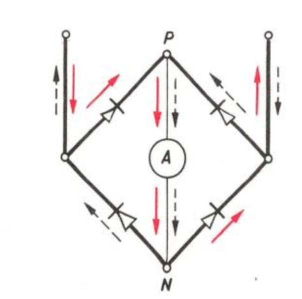
وضع ألمفتاح لتيار المستمر



وضع المفتاح للتيار المتردد



٢٢٦ – ١ دائرة تفرع من المنتصف.



٢٢٦ – ٢ دائرة لقياس التيارات الصغيرة
(أربعة مقومات في دائرة جريتز).

٢٢٦ – ٣ تدريج جهاز قياس متعدد الأغراض.

وتجهَّز أجهزة القياس ذات الملف المتحرك التي تستعمل لقياسات التيار ذي التردد العالي بمحوِّل حراري، ويحوِّل الكميات المقاسة باستخدام مزدوجة حرارية تُسخَّن بواسطة مقاومة تسخين بالتيار المراد قياسه إلى تيار مستمر متناسب معها، ثم يمرر هذا التيار في ترتيبة القياس.

١٣–١–٨ دائرة الصمامات المقوِّمة لأغراض القياس

يستغل كل من نصفي موجة التيار المتردد في دائرة التفرع من المنتصف. يستخدم نصف موجة التيار المتردد فقط في القياس في الدائرة ذات الاتجاه الواحد. أما في دائرة التفرع من المنتصف فيمكن استغلال كل من نصفي موجة التيار المتردد بواسطة خليتي تقويم. وتمتاز الدائرة ذات محوِّل الجهد (شكل ٢٢٦–١) بقلة استهلاكها الذاتي.

وإذا استخدمت أربعة مقوِّمات في دائرة جريتز (Grätz)، فيمر التيار المقاس خلال ترتيبة القياس في نفس الاتجاه أثناء كل من نصفي الموجة كما يتم الاستغناء عن المحول. وتستخدم دائرة جريتز بصفة خاصة لقيم التيارات الصغيرة.

١٣–١–٩ اختلاف تقسيمي التدريج في جهاز القياس للتيار المستمر والتيار المتردد

يمكن تجنُّب أخطاء القياس وقراءة التدريج إذا ما اكتسب المرء معرفة بتدريج جهاز القياس. ولأجهزة القياس المتعددة الوظائف تدريجات متعددة ويختار منها التدريج المناسب بواسطة مفتاح تبديل. ولا يُدرَّج التدريج بوحدات القياس، وإنما يرقَّم فقط (شكل ٢٢٦–٣). ونحصل على نتيجة القياس بضرب القيمة المقاسة (أي عدد علامات التدريج المقروءة) في قيمة القسم الواحد من أقسام التدريج وتسمى قيمة قسم التدريج بثابت القياس.

مثال: يستخدم تدريج فيه ثلاثون قسمًا لمجال القياس 6 A.

الحل: ثابت القياس = $\frac{\text{مجال القياس}}{\text{عدد أقسام التدريج}}$: $\frac{6\,A}{30} = 0{,}2\,A$

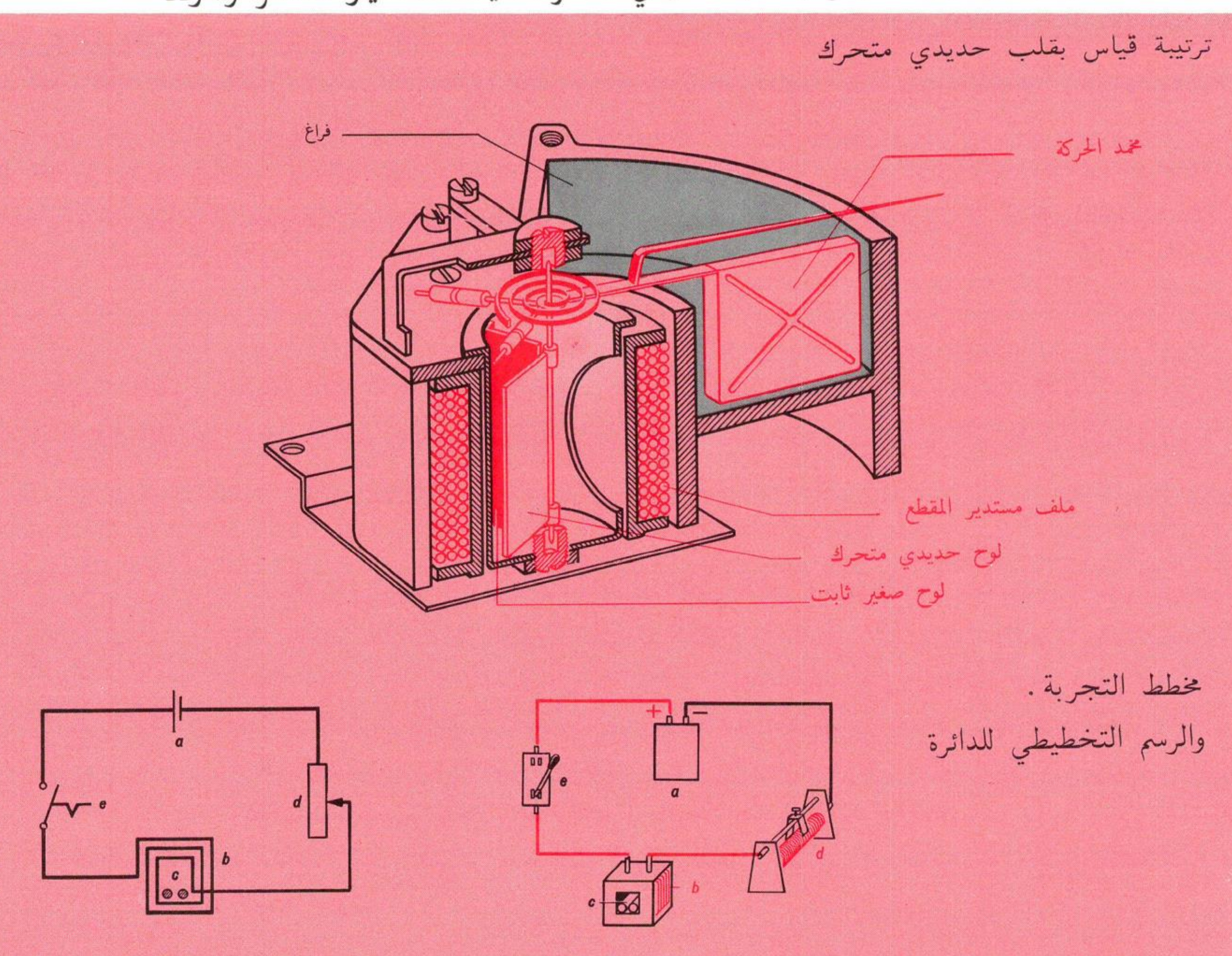
تمرينات

١ – اشرح تركيب جهاز قياس ذي ملف متحرك.
٢ – اشرح لماذا يكون جهاز القياس ذو الملف المتحرك شديد الحساسية.
٣ – يلزم زيادة مجال القياس لأمبيرمتر مقاومته الداخلية 20 Ω من 2,5 A إلى 10 A. احسب مقاومة مجزِّئ التيار.
٤ – يمكن ضبط جهاز قياس متعدد الأغراض يحتوي تدريجه على ستين قسمًا لقياس 6 A; 1,2 A; 0,3 A; 0,006 A عيِّن ثوابت القياس.

١٣-٢ الأمبيرمتر ذو القلب الحديدي المتحرك

١٣-٢-١ الأمبيرمتر ذو ترتيبة القياس بالقلب الحديدي المتحرك لقياسات التيار المستمر والمتردد

ترتيبة قياس بقلب حديدي متحرك



مخطط التجربة.

والرسم التخطيطي للدائرة

التجربة ٧١ تجربة أساسية لترتيبة قياس ذات القلب الحديدي المتحرك

التجهيزات: a = منبع جهد مستمر من 4 V إلى 6 V
b = ملف عدد لفاته N=600
c = قضيبان فولاذيان مستديرا المقطع بقطر من 2 mm إلى 3 mm
d = مقاومة متغيرة R=10 Ω
e = مفتاح

خطوات العمل: ١ - ضع الملف مائلاً قليلا، ثم ضع القضيبين الفولاذيين المستديرين في فراغ الملف.
٢ - اقفل المفتاح وراقب القضيبين.
٣ - اضبط المقاومة R لإمرار تيارات مختلفة، وراقب القضيبين.
٤ - اعكس قطبي منبع الجهد، وأكمل مثل الخطوة (٣).

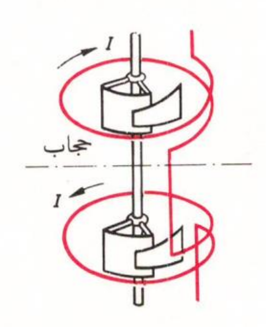
المشاهدة: في الخطوة (٢): يتمغنط قضيبا الفولاذ المستديران بنفس القطبية ويتنافران.
في الخطوة (٣): تعتمد قوة التنافر على التيار
في الخطوة (٤): نفس الملاحظة مثل الخطوة (٣).

النتيجة: تصلح ترتيبة التجربة هذه لقياسات التيار المستمر والمتردد من حيث المبدأ. كلما زاد التيار زادت المسافة بين القضيبين الفولاذيين المستديرين، ولا يعتمد التنافر على اتجاه التيار.

١٣-٢-٢ تركيب وطريقة عمل جهاز القياس ذي القلب الحديدي المتحرك (طراز الملف المستدير)

يوضع لوحان صغيران من الفولاذ المغنطيسي اللين داخل الملف المستدير (التجربة ٧١). يُثبَّت أحد اللوحين بداخل الملف ويثبَّت اللوح الاخر على محور المؤشر المرتكز على سن مدبَّب، أي أنه يصبح قابلا للدوران معه (تمثل الحديدة المتحركة). فإذا ما مر التيار المطلوب قياسه في الملف، يتمغنط اللوحان بنفس القطبية ويتنافران. ومن ثم يؤثر على محور المؤشر عزم دوران يؤدي إلى إنحراف المؤشر إلى أن يتعادل هذا العزم مع عزم الدوران الميكانيكي المعاكس الناتج عن زنبرك حلزوني مثبت بالمحور. وبذلك يكون وضع المؤشر مقياسا لشدة التيار. وبفضل تخميد الهواء للحركة، يصل المؤشر إلى قيمة القياس بدون أن يتذبذب. وتتحرك الصفيحة المخمدة المثبتة في المحور عند تحرك المؤشر في الفراغ المغلق والأكبر منها قليلا، فتضغط الهواء فيه وتعطي بذلك تأثيرا مخمِّدا للحركة.

في أجهزة القياس الحديثة ذات الدقة العالية، يحاط الجزء المغنطيسي الكهربائي من ترتيبة القياس بحاجب من الموميتال (Mu-metal) من جميع الجهات لحمايته ضد المجالات المغنطيسية الخارجية ويمنع بذلك تأثير مجال الأرض كلية.



٢٢٨ - ١ رسم تخطيطي لترتيبة قياس لا استاتية ذات قلب حديدي متحرك

تتكون **ترتيبة القياس اللاإستاتية** (شكل ٢٢٨-١) من نظامين مغنطيسيين متحركين متماثلين تماما يؤثران على المؤشر المشترك. ويسري التيار في ملفي التيار في اتجاهين متضادين. وتبعا لذلك يكون المجالان المغنطيسيان في داخل الملفين متضادين ولكنهما متساويين في القيمة. فإذا زادت قيمة المجال في أحد الملفين بسبب مجال مغنطيسي خارجي، فإن قيمة المجال في الملف الآخر تضعف بنفس المقدار، وبذلك يتلاشى المجال الخارجي. وتعتبر كل من ترتيبات القياس المحجَّبة مغنطيسيا واللاإستاتية أجهزة دقيقة بعكس الأنواع المعتادة. ويمكن زيادة الدقة في قياسات التيار المستمر بترتيبات القياس العادية بتكرار كل قياس مع عكس الأقطاب وأخذ القيمة المتوسطة.

١٣-٢-٣ العلاقة بين تركيب ترتيبة القياس ذات القلب الحديدي المتحرك وخواصها

وجدنا من التجربة (٧١) أن ترتيبة القياس ذات القلب الحديدي المتحرك تلائم التيار المستمر والتيار المتردد. وترتيبة القياس هذه رخيصة الثمن لبساطة تركيبها كما إنها غير حساسة للاستعمال الخشن أو للتحميل الزائد لفترة قصيرة. وتمثل هذه الترتيبة جهاز القياس المعتاد استخدامه في الصناعة لقياس التيار المتردد. وتوجد مقابل هذه الميزات أيضا عيوب، إذ يمكن أن تتأثر القراءة بالمجالات المغنطيسية الخارجية وبظاهرة التخلف المغنطيسي (استمرار التأثير بعد زوال المسبب) في الحديدة المتحركة (القلب الحديدي) وبمحاثة ملف ترتيبة القياس في حالة قياسات التيار المتردد.

ويمكن أن تسبب المجالات المغنطيسية الخارجية خطأ ملحوظا في نتيجة القياس، لأنه لا يجوز لقيمة المجال المغنطيسي في داخل ملف ترتيبة القياس أن تكون شديدة الارتفاع. لذا يجب تجنب وضع جهاز القياس بالقرب من الأجزاء الفولاذية والمغنطيسات وخطوط القوى الكهربائية... إلخ. ويمكن تلافي التأثير المغنطيسي الخارجي بواسطة ترتيبات القياس اللاإستاتية والمحجَّبة مغنطيسيا.

يعطى **الاستهلاك الذاتي في جهاز القياس** بالقلب الحديدي المتحرك بالڤولط أمبير (VA)، بسبب المقاومة الأومية والمفاعلة الحثية لملف ترتيبة القياس، وهي أكبر كثيرا منها في جهاز القياس ذي الملف المتحرك (من 1 VA إلى 6 VA).

ولا يمكن زيادة حساسية جهاز القياس ذي المغنطيس المتحرك بلا حدود بسبب ارتفاع الخطأ الناشئ عن التخلف المغنطيسي في حالة القيم الكبيرة للمجال المغنطيسي. وعموما يبلغ أصغر مجال قياس 0,1 A. ويكون تدريج جهاز القياس مقسما بطريقة غير متساوية (لا خطية) بسبب التخلف المغنطيسي، فهو ضيق في البداية ثم يتدرج في الإتساع بعد ذلك. إلا أنه يمكن الحصول على تقسيم خطي بتجهيز الألواح المغنطيسية المتحركة بشكل ووضع خاصين. ويمكن قياس شدة التيارات ذات ترددات تصل إلى 200 Hz بدقة عالية بدرجة كافية.

١٣-٢-٤ القياس المباشر للتيار بجهاز القياس ذي القلب الحديدي المتحرك (الشكل في التجربة ٧١)

يجرى تصميم ملف ترتيبة القياس تبعا لكل مجال قياس على حدة لقياس التيار الكامل الذي يصمم عليه الجهاز. ويمكن - على سبيل المثال - أن يتكون الملف لمجال القياس 6 A من 16,5 لفة من سلك نحاس قطره 1,8 mm وطوله 1,15 m.

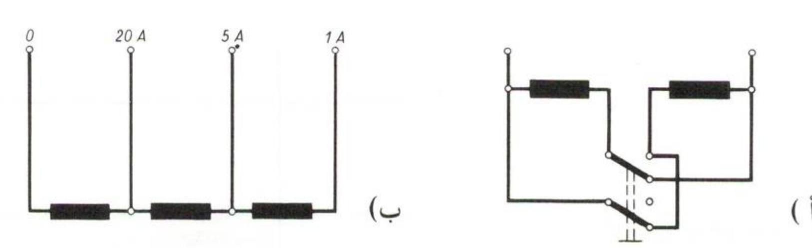
وتصنع الملفات للتيارات العالية من أسلاك نحاسية ذات مقاطع واجهية. وعادة ما تصنع ترتيبات القياس ذات القلب الحديدي المتحرك للقياسات المباشرة لمجال قياس يصل إلى 100 A. أما في التيارات الأعلى من ذلك فمن الممكن أن تتأثر قيمة القياس بوضع سلك التوصيل للجهاز.

١٣-٢-٥ زيادة مجال القياس للأمبيرمتر ذي ترتيبة القياس بقلب حديدي متحرك

قد يتجه التفكير إلى استعمال مجزِّئات تيار في أجهزة القياس ذات القلب الحديدي المتحرك كما في أجهزة القياس ذات الملف المتحرك تماما. إلا أن تنفيذ ذلك غير ممكن، لأن الملف يعتمد على التردد، كما أن الخطأ في الملف الناتج عن الحرارة يعطي خطأ كبيرا في نتيجة القياس.

يمكن زيادة مجال القياس لجهاز قياس ذي قلب حديدي متحرك بتقسيم أو تعديل ملف ترتيبة القياس. وتعتمد قيمة المجال المغنطيسي لملف ما على شدة التيار وعلى عدد اللفات فيمكن بواسطة 16,5 لفة و 6 A على سبيل المثال الحصول على نفس قيمة المجال المغنطيسي التي يمكن الحصول عليها من 99 لفة و 1 A. ويمكن على هذا الأساس أن تحصل على عدد من مجالات القياس بواسطة تقسيم ملف القياس. ويمكن الحصول على مجالين للقياس تكون النسبة بينهما (1:2) إذا قسم الملف إلى نصفين. وتوصل أنصاف الملفات على التوالي لمجال القياس الصغير وعلى التوازي لمجال القياس الكبير. (شكل ٢٢٩-١أ). ويوضح شكل (٢٢٩-١ب) توصيلة ثلاثة مجالات للقياس.

ويقع مجال القياس 1 A بين الطرفين 0 و 1 A، ويستخدم الطرفان 0 و 5 A عندما يراد أن يصبح مجال القياس 5 A. ويستخدم مجال القياس 20 A إذا وصل الطرفان 0 و 20 A في الدائرة.



٢٢٩ - ١ أ) تقسيم ملف ترتيبة القياس بالنسبة 1:2.
ب) ثلاثة مجالات قياس عن طريق تقسيم ملف ترتيبة القياس.

١٣-٢-٦ تغيير مجال القياس لجهاز قياس ذي قلب حديدي متحرك عن طريق إعادة لف ملف ترتيبة القياس

مثال : يراد استخدام جهاز قياس ذي قلب حديدي متحرك مدى قياسه من 0A إلى 1A لقياس التيار حتى 5A . كيف يجب تغيير مساحة مقطع السلك وعدد لفات الملف؟

الحل : يعيّن عدد لفات ملف القياس . فإذا كان عدد اللفات قليلا فإنه يمكن عدُّها ، وإلا فإنه يجب فك الملف بتركيبه على آلة اللف وقراءة عدد اللفات على عداد الآلة . فإذا كان العدد 200 لفة على سبيل المثال ، فإن وصلية تدفق قدرها $\Theta = 200 \cdot 1\,A$ تكون ضرورية لانحراف مؤشر جهاز القياس انحرافا كاملا . فإذا أريد زيادة مجال القياس إلى 5A فإننا نحتاج إلى عدد لفات قدره : $N = \frac{200}{5} = 40$. حتى ينحرف المؤشر بنفس التدفق للتيار 5A إلى نهاية التدريج أيضا . ويمكن معادلة نسب ضئيلة من عدم الدقة أثناء المعايرة بواسطة تحريك اللوح الحديدي الصغير ، وتحدد مساحة مقطع السلك لكثافة تيار تبلغ من $3\,A/mm^2$ إلى $5\,A/mm^2$ مع أخذ مقطع الملف في الاعتبار .

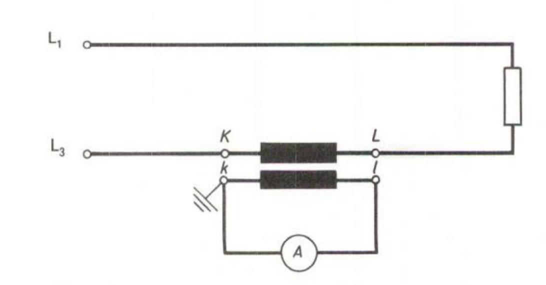
ملاحظة : يستحيل تعيين عدد اللفات الأصلية إذا كانت أسلاك الملف محترقة أو غير موجودة . لذلك يلف أي عدد من اللفات على بكرة الملف (50 على سبيل المثال) ويقاس التيار الذي يعطي المؤشر عنده إنحرافا كاملا ، فيعطي حاصل الضرب وصلية التدفق الأصلية Θ للملف ، ومنها يمكن حساب عدد اللفات N ، انظر صفحة ١٢٧ .

تستخدم محولات التيار لزيادة مجال القياس في قياسات التيار المتردد (شكل ٢٣٠-١) .

ومحول التيار هو محول يوصّل ملفُّه الابتدائي بأطرافه K و L في الدائرة الكهربائية . وتبعا لقوانين الحث ، فإن جهدا يتولد بالحث في الملف الثانوي بين k و l ، وتعتمد قيمته على شدة التيار الساري في الملف الابتدائي . ويصنع الملف الثانوي لتيار قياسي شدته 5A ولذا يبلغ مجال القياس 5A ، إلا أنه يدرّج على أساس شدة التيار في الجانب الابتدائي . تعني بيانات التدريج (250 A/5 A) : تناظر 5A على الجانب الثانوي 250A على الجانب الابتدائي .

ملاحظة : يجب عمل توصيلة قصر على الطرفين k و l دائما قبل فك الأمبيرمتر ، نظرا لإمكان ظهور جهود عالية بين الطرفين بدرجة خطرة .

يسخن القلب الحديدي بسبب الكثافة العالية للمجال المغنطيسي وقد يصل به الأمر إلى الاحتراق . وتوصي التعليمات الخاصة بإجهزة الجهد العالي بتأريض طرف واحد من الملف الثانوي والغطاء الخارجي (على الأقل $16\,mm^2$ من النحاس) لحماية دوائر القياس من الجهد العالي عند انهيار العزل . وفي منشآت الجهد العالي يجب مراعاة أن يوصل حديد المحول للجهد العالي بالطرف الأرضي للجهد العالي وتوصل دائرة القياس الثانوية بالطرف الأرضي للجهد المنخفض . وفي منشآت الجهد العالي يفصل محول التيار جهاز القياس الواقع في الدائرة الثانوية عن دائرة القياس الكهربائية . وإذا ما تم توصيل الجانب الثانوي للمحول بالأرض ، فإنه يمكن تجنب خطر الصدمات الكهربائية .



٢٣٠ - ١ توصيل أمبيرمتر بقلب حديدي متحرك مع التيار المتردد عن طريق محول تيار .

تمرينات

١ – اشرح تركيب ترتيبة القياس ذات القلب الحديدي المتحرك.
٢ – لماذا يكون تقسيم تدريج جهاز القياس ذي القلب الحديدي المتحرك غالبا غير متساوٍ؟
٣ – لماذا تستخدم ترتيبات القياس اللاإستاتية ومِمَّ تتركب؟
٤ – ما تأثير مقوِّم التيار على دقة القياس في جهاز قياس ذي ملف متحرك؟
٥ – ما هي الوظائف التي يقوم بها محول التيار؟
٦ – اشرح كيفية تأثير مخمد الحركة الهوائي، ولماذا يجب أن يحتوي جهاز القياس على مخمد الحركة بصفة عامة.

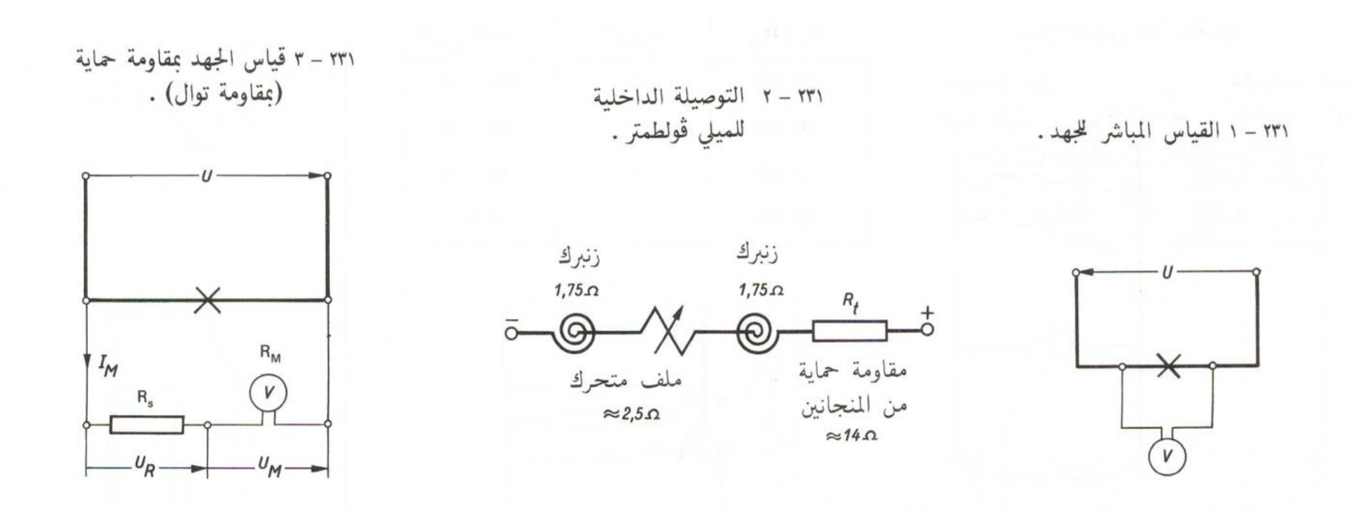
١٣–٣ الڤولطمتر

تصلح كل من أجهزة القياس ذات الملف المتحرك وذات الحديدة المتحركة (القلب الحديدي المتحرك) لقياسات الجهد أيضا. وينص قانون أوم على أن الجهد يتوقف على شدة التيار المار في مقاومة الملف إذا كانت مقاومة القياس معلومة. ولذا يكون التيار مقياسا للجهد الذي يوصل عليه جهاز القياس. ويقسَّم التدريج بالڤولط مباشرة بدلا من الأمبير.

ويجب توصيل الڤولطمتر مع الأحمال على التوازي، أي أن الڤولطمترات توضع مباشرة على الجهد المراد قياسه (شكل ٢٣١–١).

١٣–٣–١ جهاز الڤولطمتر بترتيبة القياس ذات الملف المتحرك

القياس المباشر للجهد بواسطة جهاز القياس ذي الملف المتحرك (شكل ٢٣١–١). لكي يمكن استخدام جهاز قياس ذي ملف متحرك مع مقاومة حماية (مقاومات توالٍ) لمجالات متعددة لقياس الجهد ومع مجزِّئات تيار لمجالات متعددة لقياس التيار، فإنه من الأنسب توصيله كمِلِّي ڤولطمتر. ويبلغ مجال القياس للقياسات المباشرة غالبا 60 mV. وعندما تكون مقاومة ترتيبة القياس $R_M = 20\,\Omega$ يمر تيار شدته 3 mA في الملف المتحرك عند الإنحراف الكامل. ويبين شكل (٢٣١–٢) التوصيلة الداخلية لڤولطمتر ذي مجال قياس قدره 600 mV، وتبلغ مقاومة الملف المتحرك 2,5 Ω ومقاومة كل زنبرك توجيه 1,75 Ω. وكما في صفحة (٤٣) تتغير مقاومة النحاس مع درجة الحرارة بمقدار 0,4% لكل 1°C. ولإبقاء الخطأ الناشئ عن التغير في درجة الحرارة صغيرا، توصَّل مقاومة من المنجانين على التوالي مع ملف ترتيبة القياس، ويجب أن تبلغ مقاومتها من خمسة إلى ستة أمثال قيمة مقاومة الملف المتحرك. وكلما ارتفعت نسبة قيمة مقاومة التوالي R_t إلى مقاومة الملف المتحرك، قلَّ تأثير تغيُّر مقاومة الملف الناتج عن تغيُّر درجة الحرارة على القيمة الكلية للمقاومة.



٢٣١ – ٣ قياس الجهد بمقاومة حماية (بمقاومة توال).

٢٣١ – ٢ التوصيلة الداخلية للميلي ڤولطمتر.

٢٣١ – ١ القياس المباشر للجهد.

يجب **زيادة مجال القياس بجهاز القياس ذي الملف المتحرك للجهود الأعلى**. ولهذا الغرض يجب أن توصل مقاومة حماية (مقاومة التوالي) R_s مع مقاومة ترتيبة القياس لتستهلك الجهد الزائد (شكل ٢٣١-٣) . ويمر تيار القياس $I_M = U_M / R_M$ بهذه المقاومة وحيث أن R_s موصلة على التوالي مع مقاومة ترتيبة القياس R_M فإن :

$$R_t = R_s + R_M$$

وتكون هذه المقاومة الكلية موصَّلة على الجهد U المراد قياسه ، ولذلك تحسب قيمتها من : $R_t = U/I_M$ ، ثم تحسب R_s ، من التوصيل على التوالي :

$$R_s = R_t - R_M$$

مثال : يراد استخدام ڤولطمتر ذي ملف متحرك مجال قياسه 60 mV ومقاومة ترتيبة القياس له $R_M = 20\ \Omega$ في القياسات حتى 300 V . ما مقدار مقاومة الحماية (مقاومة التوالي) ومقدار القدرة المفقودة فيها؟

المعطيات : $U_M = 0{,}06\ V;\ R_M = 20\ \Omega;\ U = 300\ V$

المطلوب : حساب قيمة مقاومة الحماية (R_s) بوحدة (Ω) .

الحل :

$$I_M = \frac{U_M}{R_M} = \frac{0{,}06\ V}{20\ \Omega} = 0{,}003\ A$$

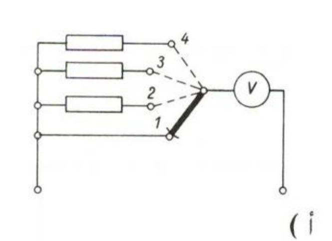
$$R_t = \frac{U}{I_M} = \frac{300\ V}{0{,}003\ A} = 100\ 000\ \Omega$$

$$R_s = R_t - R_M = 100\ 000\ \Omega - 20\ \Omega = 99\ 980\ \Omega$$

الفقد في القدرة : $P = I^2 \cdot R = 0{,}003\ A \cdot 0{,}003\ A \cdot 99\ 980\ \Omega \sim 0{,}9\ W$

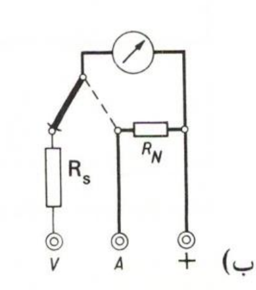
يصلح الڤولطمتر بترتيبة القياس ذات الملف المتحرك ومعه مقوِّم كڤولطمتر للجهد المتردد . وهو يستخدم لقياس الجهود المتردِّدة من 1,5 V إلى 1000 V بأقل استهلاك ذاتي . وقد لاقت أجهزة القياس المعروفة بأجهزة القياس متعددة الأغراض للتيار المستمر والمتردد انتشارا كبيرا في التطبيق العملي .

٢٣٢ - ١ أجهزة القياس متعددة الأغراض . أ) ڤولطمتر بمفتاح إنتقائي ب) جهاز قياس بملف متحرك لقياس التيار والجهد (بثلاثة أطراف) . ج) مثل ب) إلا أنه بطرفين فقط . د) التركيب العادي لتوصيلة تغيير مجال القياس .

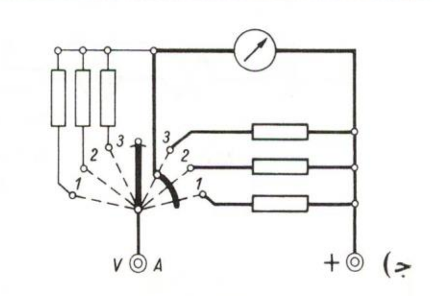


أ)

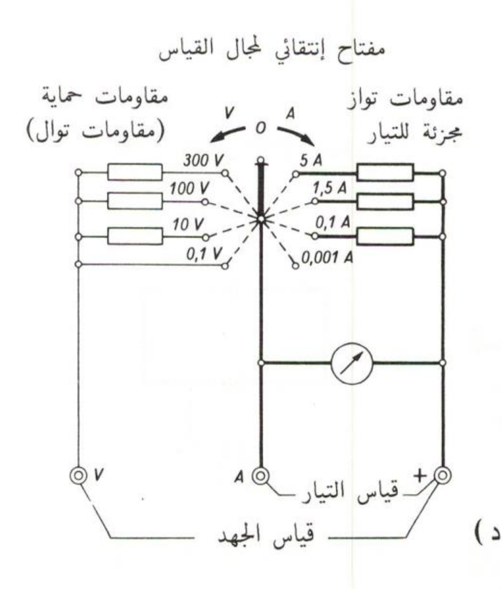
مجال القياس	الوضع	$R_s + R_M$
300 V	4	60 kΩ
100 V	3	20 kΩ
10 V	2	2 kΩ
0,1 V	1	20 kΩ



ب)



ج)



د)

١٣-٣-٢ الڤولطمتر ذو ترتيبة القياس بالقلب الحديدي المتحرك

القياس المباشر للجهد بواسطة جهاز القياس ذي المغنطيس المتحرك (شكل ٢٣١-١) . تتوافر الڤولطمترات ذات ترتيبة القياس بالقلب الحديدي المتحرك بمجال قياس من 10 V حتى 600 V للتوصيل المباشر . ويتكوّن ملف ترتيبة القياس من عدد كبير من اللفات من سلك رفيع حسب ارتفاع الجهد . وكما في ترتيبة القياس ذات الملف المتحرك ، يجب أن توصل مقاومة من المنجانين عديم التأثُّر بدرجة الحرارة على التوالي مع ملف ترتيبة القياس .

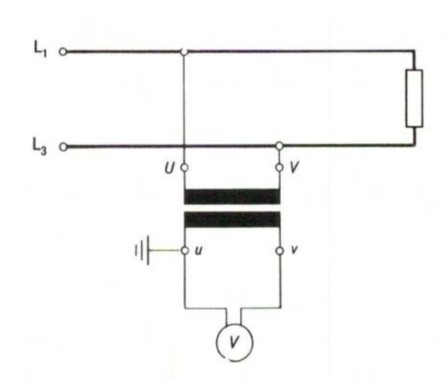
ويمكن أن يكون لجهاز قياس ذي مغنطيس متحرك ومجال قياس من 0 إلى 130 V على سبيل المثال البيانات التالية : يتكوّن ملف المجال من 5 600 لفة من سلك نحاس قطره 0,1 mm ، مقاومة ترتيبة القياس $R_M = 750\ \Omega$ موصّلة على التوالي مع مقاومة من المنجانين قيمتها $R_t = 6\,900\ \Omega$ ويمر تيار شدته 17 mA عند الانحراف الكامل وتبلغ قدرته 2,2 VA .

يصبح الاستهلاك الذاتي لترتيبات القياس ذات المغنطيس المتحرك كبيرا جدا نتيجة لمقاومة المنجانين R_t الموصلة على التوالي ، ويصل هذا الاستهلاك إلى 6,5 VA تبعا لنوع الجهاز . أما إذا لم تستخدم مقاومة المنجانين ، وذلك لتقليل الاستهلاك الذاتي ، فإن الجهاز يعطي قراءة 211 V فقط بدلا من 220 V عند تغير درجة الحرارة بمقدار $+10°$.

زيادة مجال قياس الڤولطمتر ذي ترتيبة القياس بالقلب الحديدي المتحرك . يمكن أساسا استخدام مقاومة حماية (مقاومة توالٍ) R_s ، كما في جهاز القياس ذي الملف المتحرك ، إلا أن الاستهلاك الذاتي المرتفع أصلا يزداد . لذلك يكون من الأفضل لف ملف القياس بالقلب الحديدي المتحرك لفا جديدا . ولما كانت الجهود في الملف تتناسب مع عدد اللفّات فينتج : $U_1/U_2 = N_1/N_2$. ويتحدّد مقطع السلك طبقا لحيز اللف الموجود . ويجب أيضا اختبار ما إذا كانت مقاومة المنجانين تكفي للتغلب على تأثير درجة الحرارة حيث يجب أن تكون مقاومة الجهاز الكلية أكبر من أو تساوي ستة أضعاف مقاومة الجهاز $(R_t \geqq 6\,R_M)$. وإذا لم يكن عدد اللفات الأصلية معلوما ، يحسب تيار ترتيبة القياس طبقا للصيغة التقريبية $I_M = 4 \div U_M$ وعدد اللفات طبقا للصيغة $N = A_W \div I_M$ ، ثم تعيّن قيمة مقاومة ملف المجال بعد اختيار مساحة مقطع السلك . ويجب أن يبلغ هبوط الجهد على الملف حوالي من $1/6$ إلى $1/15$ من المجال الجديد لقياس الجهد . وفي حالة وجود قيم أخرى لمجال القياس ، يجب اختيار مساحة مقطع أخرى للسلك .

يستخدم محوِّل الجهد لزيادة مجال الجهد ، وتستخدم للجهود المترددة الأعلى من 600 V أجهزة قياس ذات مجال قياس 100 V مع محول جهد . ومحولات الجهد عبارة عن محولات يوصّل جانب الجهد المرتفع فيها U–V على الجهد المراد قياسه ويوصل الڤولطمتر على جانب الجهد المنخفض فيها u–v (شكل ٢٣٣-١) . والجهد الثانوي الإسمي لمحولات الجهد موحّد قياسيا ، ويبلغ 100 V .

ملاحظة : لا يسمح بتاتا بقصر دائرة الجانب الثانوي لمحوّلات الجهد .



٢٣٣ - ١ ڤولطمتر ذو مغنطيس متحرك مع محول جهد .

١٣-٤ تدريج أجهزة القياس (طبقا لتعليمات VDE 0410)

١٣-٤-١ تمثيل أنواع ترتيبات القياس بالرموز (شكل ٢٣٤-١)

رموز أجهزة القياس			
جهاز قياس بملف متحرك مع مغنطيس دائم، تمثيل عام		جهاز قياس بقلب حديدي متحرك	
مقوم يتصل بجهاز قياس بملف متحرك		جهاز قياس إلكتروديناميكي خالي من الحديد	
جهاز قياس بملف متحرك مع مغنطيس دائم، مقياس نسبة		جهاز قياس إلكتروديناميكي بإطار حديدي	

٢٣٤ - ١ رموز أجهزة القياس.

١٣-٤-٢ رمز الرتبة ورمز نوع التيار ورمز الوضع ورمز جهد الاختبار

نتعرف من رمز الرتبة على درجة جودة جهاز القياس وبالتالي على دقة القياس التي يمكن التوصل إليها

درجة الجودة	نوع الجهاز
0,1 0,2 0,5	جهاز قياس دقيق
1 1,5 2,5 5	جهاز قياس مستخدم في الصناعة للورش

ويدل هذا الرمز على خطأ القراءة المسموح به كنسبة مئوية من القيمة النهائية لمجال القياس. وتعني درجة الجودة 1: يسمح للقيمة العظمى لخطأ القياس أن تبلغ ±1% من الانحراف الكلي.

مثال ١: وضّح حدود تفاوت قيمة القياس، إذا أشار المؤشر في أمبيرمتر ذي درجة جودة 2,5 ومجال قياس من 0 A إلى 10 A إلى: أ) 10 A، ب) 3 A.

الحل: أ) 10 A ± 0,25 A، ب) 3 A ± 0,075 A

مثال ٢: ما مقدار الإنحراف المسموح به عن القيمة الواجبة إذا كان الڤولطمتر ينتمي إلى درجة جودة 1 وكان مجال القياس من 10 V إلى 0 إلى 10 V (الصفر في المنتصف)؟

الحل: $0{,}01 \cdot 20\,V = \pm 0{,}2\,V$

مثال ٣: ما مقدار الخطأ في قراءة ڤولطمتر يبلغ مجال قياسه 250 V، إذا أشار المؤشِّر إلى المقدار 143 V لجهد قيمته 140 V؟

الحل: الفرق هو +3 V. فإذا نسب هذا الفرق إلى 250 V كان الخطأ: $\frac{+3\,V}{250\,V} \cdot 100\% = 1{,}2\%$

ملاحظة: ينسب الانحراف عن القيمة المقاسة دائما إلى المجال الكلي للقياس في جهاز القياس، وليس إلى قيمة القياس. وفي أجهزة القياس التي تقع نقطة الصفر فيها في المنتصف، تؤخذ قيمة التدريج الكلي في الاعتبار.

١٣-٤-٣ أهمية بيان رمز نوع التيار في تحديد ما إذا كان جهاز القياس يستخدم للتيار المستمر أو للتيار المتردد أو لنوعي التيار

إذا كان نوع معين من التيار مبيَّنا على تدريج جهاز قياس ذي القلب الحديدي المتحرك، فإن ذلك يعني أن الجهاز معاير لهذا النوع. ويمكن استخدام الجهاز أيضا للنوع الآخر من التيار بعد معايرة مناسبة (شكل ٢٣٥-١). ويبين شكل (٢٢٦-٣) تدريج جهاز قياس متعدد الأغراض ويستخدم للتيار المستمر والتيار المتردد.

تيار مستمر	—	تيار متردد	~	تيار مستمر وتيار متردد	≂

٢٣٥ – ١ رموز أنواع التيار .

٢٣٥ – ٢ رموز الوضع .

وضع الاستخدام رأسي	⊥	وضع الاستخدام أفقي	⊓	وضع الاستخدام مائل مع إعطاء زاوية الميل	∠60°

يجب الانتباه لرمز الوضع لأن أجهزة القياس تعطي قراءة صحيحة فقط في الوضع الذي تمت عليه معايرتها ، وذلك حسب الأوضـاع التي تمت بها موازنة مؤشراتها (شكل ٢٣٥–٢) .

رمز جهد الاختبار نجمة ذات حواف سوداء . يكتب في داخل هذه النجمة الجهد بالـكيلوڤولط (kV) الذي يجب توصيله بين الصندوق الخارجي وترتيبة القياس لاختبار عزل جهاز القياس (شكل ٢٣٥–٣) . ويبلغ جهد الاختبار 500 V إذا لم يحتو الرمز على أرقام .



٢٣٥ – ٣ رموز جهود الاختبار – نجمة ذات حواف سوداء .

١٣–٤–٤ ترتيب الرموز والعلامات على تدريجات أجهزة القياس (شكل ٢٣٥–٤)

أ) — 0,5 ⊓ ☆2

ب) — 1,5 ⊥ ☆2

ج) ~ 1,5 ⊥ ☆2

د) ≂ 15..50..500 ast. 0,2 ⊓ ☆2

٢٣٥ – ٤ الرموز والعلامات .

أ) جهاز قياس ذو ملف متحرك ، الرتبة 0,5 ، تيار مستمر ، وضع الاستخدام أفقي ، جهد الاختبار 2 000 V .

ب) مثل (أ) ، إلا أن الرتبة 1,5 ووضع الاستخدام رأسي .

ج) ترتيبة القياس ذات قلب حديدي متحرك ، الرتبة 1,5 ، معاير للتيار المتردد ، وضع الاستخدام رأسي ، جهد الاختبار 2 000 V .

د) ترتيبة قياس كهردينامية لاإستاتية خالية من الحديد ، الرتبة 0,2 ، للتيار المستمر والتيار المتردد ، وضع الاستخدام أفقي ، جهد الاختبار 2 000 V ، الاستعمال العادي عند 50 Hz ، إبتداء من 15 Hz لا يوجد أزيز للمؤشر حتى 500 Hz ، خطأ القياس أقل من 0,2% .

تمرينات

١ – ارسم الرموز والعلامات على تدريج جهاز قياس : ذي قلب حديدي متحرك ، لا إستاتي ، الرتبة 1 ، وضع الاستخدام أفقي معاير للتيار المتردد ، جهد الاختبار 5 000 V .

٢ – يبلغ مجال القياس لأمبيرمتر 100 mA . إحسب الانحراف المسموح به عن القيمة الواجبة إذا كان الجهاز ينتمي إلى الرتبة 0,5 ويعطي قراءة 30 mA

٣ – ما هي الفروق الأسـاسية بين الڤولطمتر والأمبيرمتر ؟

٤ – يلزم زيادة مجال القياس لڤولطمتر جهده 100 V ومقاومته الداخلية 10 kΩ ليصبح 250 V . احسب مقاومة الحماية (مقاومة التوالي) التي توصّل مع الڤولطمتر .

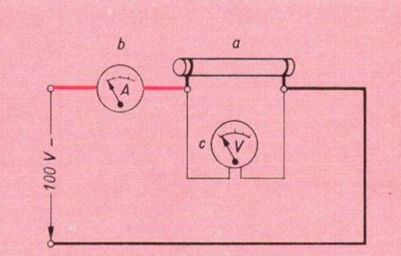
١٣-٥ قياس المقاومة

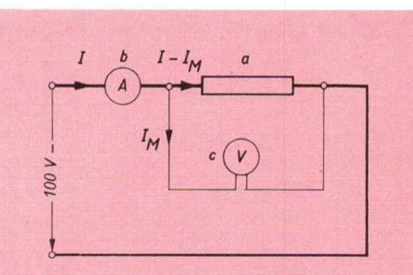
١٣-٥-١ مبادئ عامة عن القياس بالأمبيرمترات والفولطمترات

يجب أن يكون هبوط الجهد بالأمبيرمترات أصغر ما يمكن (R_M صغيرة جدا) حتى تأخذ كل الأحمال الجهد الكامل. أما الفولطمترات فيجب أن تكون لها مقاومات عالية ما أمكن حتى يكون تيار ترتيبة القياس وفقد القدرة صغيرين قدر الإمكان.

١٣-٥-٢ قياس قيمة المقاومة الأومية بواسطة أمبيرمتر وفولطمتر

دائرة قياس للمقاومات الصغيرة.
مخطط التجربة
الرسم التخطيطي للدائرة





التجربة ٧٢ تعيين مقاومة أومية صغيرة

التجهيزات: a = مقاومتان أوميتان $R = 10\,000\ \Omega$ و $R = 100\ \Omega$
b = أمبيرمتران بملف متحرك مجال قياسهما من 0 mA إلى 25 mA ومن 0 A إلى 2 A
c = ثلاثة فولطمترات 100 Ω/V و 500 Ω/V و 1000 Ω/V، مجال قياس من 0 V إلى 130 V، ومصدر جهد مستمر 100 V.

خطوات العمل: ١ - صل الدائرة باستخدام المقاومة $R = 10\,000\ \Omega$ وفولطمتر $R_i = 100\ \Omega/V$ والأمبيرمتر بمجال القياس من 0 mA إلى 25 mA. قس U و I.
٢ - إستخدم فولطمتر $R_i = 500\ \Omega/V$، وماعدا ذلك كرر الخطوة (١).
٣ - إستخدم فولطمتر $R_i = 1000\ \Omega/V$، وما عدا ذلك كرر الخطوة (١).
٤ - إستخدم المقاومة $R = 100\ \Omega$ وأمبيرمتر ذا مجال القياس من 0 A إلى 2 A ثم كرر القياس كما في الخطوات (١)، (٢) و (٣).
٥ - إحسب جميع قيم الجدول الناقصة.

القراءات:

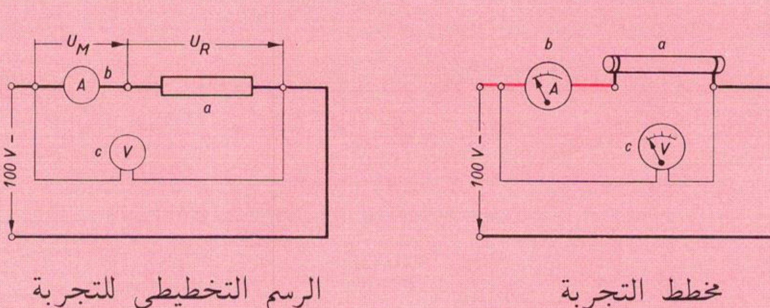
R	R_i	$R_t = \frac{R \cdot R_i}{R + R_i}$	U	I	I_M	$I - I_M$	R محسوبة من U و I	R محسوبة من U و I بالنسبة المئوية
10 000 Ω	10 000 Ω	5 000 Ω	100 V	20 mA	10 mA	10 mA	5 000 Ω	50 %
	50 000 Ω	8 333,3 Ω	100 V	12 mA	2 mA	10 mA	8 333,3 Ω	16,66%
	100 000 Ω	9 090,9 Ω	100 V	11 mA	1 mA	10 mA	9 090,9 Ω	9,1 %
100 Ω	10 000 Ω	99,0 Ω	100 V	1,010 A	10 mA	1 A	99,0 Ω	1 %
	50 000 Ω	99,8 Ω	100 V	1,002 A	2 mA	1 A	99,8 Ω	0,2 %
	100 000 Ω	99,9 Ω	100 V	1,001 A	1 mA	1 A	99,9 Ω	0,1 %

كلما صغرت R وكلما كانت مقاومة الفولطمتر مرتفعة صغر خطأ القياس.

النتيجة: تكون دائرة القياس هذه مناسبة إذا لزم تعيين قيم مقاومات صغيرة.

يقع الأمبيرمتر في الدائرة الكهربائية قبل فرع قياس الجهد في دائرة القياس (الشكل في التجربة ٧٢) . ويوصل الڤولطمتر على أطراف المقاومة المراد قياسها مباشرة. ولا يبين الأمبيرمتر التيار $I-I_M$ المار فعلا في المقاومة المراد قياسها في هذه الدائرة فقط، وإنما أيضا التيار I_M المار في ملف ترتيبة القياس للڤولطمتر. لذا يزداد خطأ القياس كلما صغر التيار المراد قياسه وكلما زاد التيار المار في ملف ترتيبة القياس للڤولطمتر. وإذا كان التيار $I-I_M$ صغيرا يجب أن تكون مقاومة ترتيبة القياس للڤولطمتر R_i عالية جدا، حتى يمكن الحصول على نتائج دقيقة للقياس.

دائرة قياس للمقاومات الكبيرة



مخطط التجربة — الرسم التخطيطي للتجربة

التجربة ٧٣ تعيين مقاومة أومية كبيرة

التجهيزات : a = مقاومتان أوميتان R = 10 000 Ω و R = 100 Ω

b = أمبيرمتران بملف متحرك مقاومتهما 50 Ω و R_i = 20 Ω ومجالا قياسهما من 0 mA إلى 30 mA ومن 0 A إلى 1 A.

c = ڤولطمتر بملف متحرك، مجال قياسه من 0 V إلى 130 V، مصدر جهد مستمر 100 V.

خطوات العمل : ١ – صل الدائرة باستخدام المقاومة R = 1000 Ω والڤولطمتر ذي مجال القياس من 0 V إلى 130 V والأمبيرمتر R_i = 20 Ω وقس U و I.

٢ – كرر الخطوة (١) مع استخدام الأمبيرمتر R_i = 50 Ω.

٣ – كرر الخطوة (١) مع استخدام المقاومة R = 100 Ω والأمبيرمتر R_i = 20 Ω.

٤ – كرر الخطوة (١) مع استخدام المقاومة R = 100 Ω والأمبيرمتر R_i = 50 Ω.

٥ – احسب جميع القيم الناقصة بالجدول.

القراءات :

R	U	I	R_i	U_M	U_R	R محسوبة من U و I	R محسوبة، بالنسبة المئوية من U و I
10 000 Ω	100 V	9,98 MA	20 Ω	0,2 V	99,8 V	10 020 Ω	0,2%
	100 V	9,95 mA	50 Ω	0,5 V	99,5 V	10 050 Ω	0,5%
100 Ω	100 V	0,833 A	20 Ω	16,7 V	83,3 V	120 Ω	20 %
	100 V	0,666 A	50 Ω	33,4 V	66,6 V	150 Ω	50 %

كلما زادت R وكان الأمبيرمتر منخفض الأومية، صغر خطأ القياس.

النتيجة : تكون دائرة القياس هذه ملائمة إذا لزم تعيين قيم مقاومات كبيرة.

في دائرة القياس (الشكل في التجربة ٧٣) يوصل الأمبيرمتر مع المقاومة R على التوالي ويوصل الڤولطمتر على أطراف وصلة التوالي المكونة من R و R_M الأمبيرمتر. وبينما يبين الأمبيرمتر قراءة صحيحة، فإن الڤولطمتر يبين جهدا أعلى بكثير، لأن قراءته تكون مشتملة على هبوط الجهد في الأمبيرمتر. وتكون القراءة هي مجموع الجهدين : $U = U_M + U_R$. ويزداد خطأ القياس في هذه الدائرة كلما صغر الجهد المراد قياسه U وزادت المقاومة الداخلية للأمبيرمتر.

١٣-٥-٣ تأثير الاستهلاك الذاتي لجهاز القياس على نتيجة القياس

تبين التجربتان (٧٢) ، (٧٣) أن اختيار دائرة القياس ليس العامل الوحيد المهم للحصول على نتيجة قياس دقيقة ، بل يجب أخذ الاستهلاك الذاتي لجهاز القياس أيضا في الاعتبار ، لأن كل ڤولطمتر يسمح بمرور تيار ، ويوجد على كل أمبيرمتر هبوط في الجهد .

مثال ١ : يمكن لمقوِّم أن يعطي عند جهد منبع 250 V تيارا شدته 35 mA . إذا أختبر هذا الجهد بڤولطمتر ذي قلب حديدي متحرك مجال قياسه 300 V واستهلاكه الذاتي عند الانحراف الكامل 5 VA ، يبلغ الاستهلاك الذاتي 4,2 VA عند انحراف المؤشر إلى 250 V . إذن يمر تيار

$$I_M = \frac{4,2\ VA}{250\ V} = 0,017\ A$$

خلال ملف ترتيبية القياس . إلا أن هذا التيار هو نصف تيار التحميل للمقوّم ، ومن هنا يمكن أن يهبط الجهد عند المقوم جزئيا ويحدث خطأ في نتيجة القياس .

مثال ٢ : يلزم توصيل أمبيرمتر ذي قلب حديدي متحرك يبلغ هبوط الجهد عليه 1,2 V عند الانحراف الكامل ، مع مقاومة على التوالي ، على جهد منبع قدره 10 V . فإذا ما كان المؤشر عند القيمة النهائية ، فإن المقاومة تأخذ 8,8 V فقط بدلا من 10 V ويكون التيار المقاس أصغر من الحقيقة ، أي أنه إذا لم يكن الأمبيرمتر موصلا في دائرة التيار ، فيمر خلال المقاومة تيار أكبر .

ملاحظة : يقيس الأمبيرمتر بدقة أكبر كلما قل استهلاكه الذاتي . وإذا وجد أمبيرمتران لهما مدى قياس واحد ، فيكون الاستهلاك الذاتي الأقل هو للأمبيرمتر ذي المقاومة الداخلية الأصغر وبالتالي ذي هبوط الجهد الأصغر .

ملاحظة : يقل الاستهلاك الذاتي للڤولطمتر كلما ارتفعت مقاومته الداخلية لكل ڤولط أي كلما قل تياره الذاتي .

لهذا تعطى لكل ڤولطمتر نسبة الأوم لكل ڤولط في الصناعة . ويمر تيار ذاتي شدته $1\ V/100\ \Omega = 10\ mA$ في جهاز القياس الذي يميز بالقيمة $100\ \Omega/V$ عند الانحراف الكامل . وتصل أجهزة القياس الجيدة إلى $100\ k\Omega/V$ ، أي أن التيار الذاتي بها يبلغ $1 \cdot 10^{-5}\ A$.

١٣-٥-٤ ازدياد دقة القياس باختيار مجال القياس بحيث ينحرف المؤشر بأكبر زاوية ممكنة

نظرا لأن خطأ القراءة ينسب إلى القيمة النهائية لمجال القياس ، فإن القياس يكون أدق كلما اقترب المؤشر من الانحراف التام .

مثال : ما هو خطأ القياس المسموح به لكل قراءة إذا استخدم ڤولطمتر ذو ملف متحرك درجة جودته 1 وبمجال قياسه مائة قسم تدريج = 100 V ؟

درجة الجودة 1 تعني : يجب أن تقع قيمة القياس عند الانحراف الكامل في حدود 100 V ± 1 V .

الجهد المقاس	وضع المؤشر على التقسيم	الحدود المسموح بها	الخطأ المسموح به
100 V	100	100 V ±1 V	1 %
80 V	80	80 V ±1 V	1,25%
60 V	60	60 V ±1 V	1,67%
40 V	40	40 V ±1 V	2,5 %
20 V	20	20 V ±1 V	5 %
10 V	10	10 V ±1 V	10 %
5 V	5	5 V ±1 V	20 %

إذا بين جهاز القياس المذكور بمجال قياس 100 V جهدا قدره 10 V طبقا للجدول السابق، يسمح بخطأ قدره 10% على سبيل المثال. انظر أيضا المخطط البياني شكل (٢٣٩-١).

ملاحظة: يجب اختيار مجال القياس بحيث لا يقف المؤشر في الثلث الأول من التدريج.

١٣-٥-٥ دقة القياس ودقة القراءة كعاملين مختلفين

يجب أن تكون قراءة أجهزة القياس بطريقة صحيحة. ولما كان المؤشر يقع على إرتفاع معين من التدريج، فإن النتيجة الصحيحة تقرأ فقط إذا نظرنا إلى المؤشر من أعلى وعموديا عليه تماما ولذلك توجد مرآة تحت المؤشر في أجهزة القياس عالية الجودة ذات المؤشر، وفيها يجب أن ينطبق المؤشر على صورته في المرآة، وبذلك نتجنب خطأ إنحراف المؤشر عن شرط التدريج الذي يسميه المتخصصون بخطأ الرؤية. ولمراقبة التغيرات الطفيفة في جهد المنبع تستخدم عدسات ڤولطية بها تدريج موسَّع يبين على سبيل المثال القيم من 200 V إلى 220 V فقط.

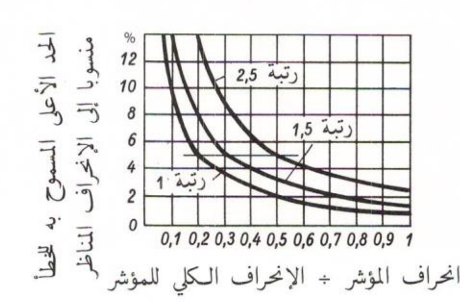
١٣-٥-٦ التأنّي في القياس وأثره في تقليل خطر الحوادث في شبكات الجهد العالي

يُؤرَّض كثير من الدوائر، فتوجد بها نقطة ليس بينها وبين الأرض جهد. وكلما اقترب توصيل جهاز القياس من نقطة التأريض كان التشغيل أكثر أمانا (شكل ٢٣٩-٢). ويوصل الأمبيرمتر قريبا جدا من نقطة التأريض، وكذلك يوصل الڤولطمتر ذو مقاومة الحماية (مقاومة التوالي) المنفصلة بحيث يتصل جهاز القياس بالسلك المؤرض وتتصل مقاومة الحماية (مقاومة التوالي) بالسلك غير المؤرَّض.

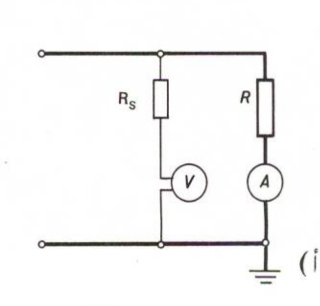
٢٣٩ - ١ تعطي الإنحرافات الصغيرة للمؤشر دقة قياس منخفضة.

٢٣٩ - ١ أمبيرمتر وڤولطمتر موصلان في دائرة ذات جهد عال.

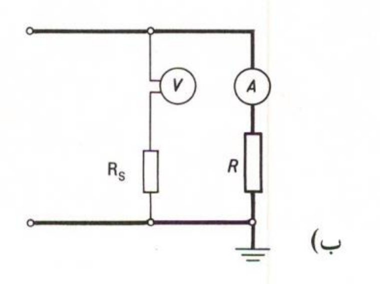
٢٣٩ - ٢ أ) وضع ملائم (جهازا القياس موصلان بالقرب من نقطة التأريض). ب) وضع غير ملائم.

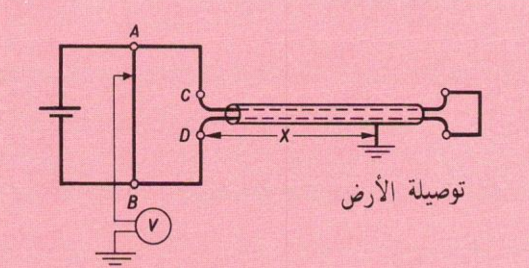


أ)

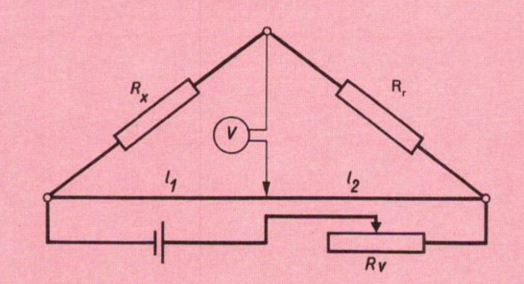


ب)

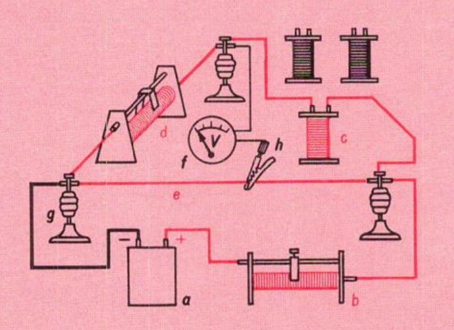




توصيل قنطرة ويتستون.
تحديد موضع الاتصال بالأرض في كبل أرضي بواسطة القنطرة.



الرسم التخطيطي للتجربة



مخطط التجربة

التجربة ٧٤ تجربة أساسية بقنطرة ويتستون

التجهيزات: a = منبع جهد مستمر من 2 V إلى 4 V
b = مقاومة متغيرة R = 1000 Ω لمنبع الجهد
c = مقاومات للمقارنة 2 Ω و 24,5 Ω و 42 Ω و 98 Ω
d = مقاومة غير معلومة $R_x = 98\ \Omega$
e = سلك من الكونستانتان طوله 1 m وقطره 0,2 mm
f = ڤولطمتر ذو ملف متحرك عالي الأومية نقطة الصفر له في المنتصف
g = ثلاثة حوامل توصيل
h = مشبك تمساحي
متر قياس طوله 1 m

خطوات العمل: ١ - كوّن الدائرة باستخدام المقاومة R = 98 Ω .
٢ - حرّك المشبك التمساحي المنزلق على سلك الكونستانتان (قنطرة سلك الانزلاق) حتى يبين الڤولطمتر القراءة صفرا. قس الأطوال l_1 و l_2.
٣ - كرر القياس باستخدام المقاومات 2 Ω و 25,5 Ω و 42 Ω
٤ - احسب قيمة المقاومة المراد إيجادها عندما يشير مؤشر جهاز إلى الصفر.

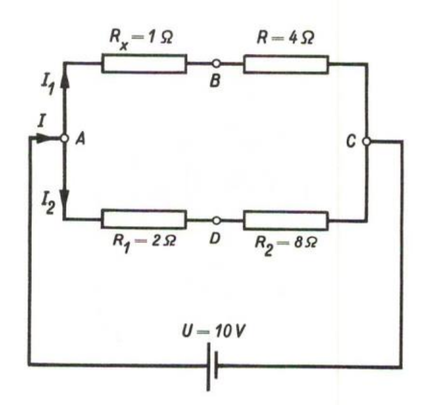
$$R_x = \frac{l_1}{l_2} R$$

المشاهدة والقراءات: لا يعطي جهاز القياس أي انحراف في كل قياس عند وضع معين للمشبك التمساحي على سلك الانزلاق، ولكن عند أقل حركة إلى اليمين أو إلى اليسار يعطي المؤشر انحرافا.

$R_x = \frac{l_1}{l_2} \cdot R$	l_2	l_1	R
98 Ω	50 cm	50 cm	98 Ω
98 Ω	30 cm	70 cm	42 Ω
98 Ω	20 cm	80 cm	24,5 Ω
98 Ω	2 cm	98 cm	2 Ω

النتيجة: تلائم دائرة قنطرة ويتستون القياس الدقيق لقيم المقاومات ملاءمة جيدة.

* ويتستون Wheatstone، عالم فيزياء إنكليزي، ١٨٠٢-١٨٧٥



٢٤١ - ١ الدائرة المكافئة لتوصيلة قنطرية .

يمكن مقارنة دائرة قنطرة القياس بدائرة المقاومات المبيّنة بشكل (٢٤١-١) .

يمر تيار : $I_1 = \frac{U}{R_x + R} = \frac{10\,V}{5\,\Omega} = 2\,A$ في الفرع A–B–C .

ويمر تيار: $I_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{10\,V}{10\,\Omega} = 1\,A$ في الفرع A–D–C .

وتبعا لذلك يوجد على المقاومة R_x جهد $U_x = I_1 \cdot R_x = 2\,A \cdot 1\,\Omega = 2\,V$.

وكذلك يوجد على المقاومة R_1 جهد $U_1 = I_2 \cdot R_1 = 1\,A \cdot 2\,\Omega = 2\,V$.

ويكون الجهدان على كل من المقاومتين R و R_2 متساويين أيضا ، وعن طريق التوصيل بموصل بين B و D ، وهو ما يسمى بالقنطرة ، لايمر في هذه الحالة أي تيار . ويكون : $R \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2;\ R_x \cdot I_1 = R_1 \cdot I_2$.

وبقسمة المعادلة الأولى على الثانية ينتج : $\frac{R_x \cdot I_1}{R \cdot I_1} = \frac{R_1 \cdot I_2}{R_2 \cdot I_2}$

وباختصار التيارات نحصل على : $\frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2}$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R$$

ولا يوجد بين النقطتين (B–D) أي جهد إذا قسمت المقاومة بنسبة متساوية . فإذا كانت المقاومات R_1 و R_2 ناتجة من السلك ، فإنه يمكن التعويض بطولي سلكيهما : $R_x = (l_1 \div l_2) \cdot R$.

وتكون نتيجة القياس أكثر دقة كلما كان الفرق بين المقاومة المراد ايجادها R_x والمقاومة المعلومة R صغيرا . تحتوي قنطرة القياس على عدد من المقاومات المعلومة وتكون غالبا ذات مضاعفات عشرية ، حتى يمكن توفيق المقاومة المعلومة لتكون مقاربة لقيمة المقاومة المراد إيجادها . وهذه هي الحالة عندما يكون الطول l_1 مساويا للطول l_2 على وجه التقريب .

مثال : اكتشف اتصال بالأرض في كبل ذي موصلين طوله المفرد 8 km ، ويلزم البحث عن الموضع الذي يجب حفر أرضية الشارع عنده . تعمل توصيلة قصر دائرة للموصلين عند احدى النهايتين وتكون دائرة القنطرة طبقا للشكل في التجربة (٧٤) . يعطي جهاز القياس صفرا عندما يبعد تلامس المنزلق عن النقطة B بمسافة 200 mm على السلك البالغ طوله مترا . على أي بعد من D يقع الاتصال بالأرض؟

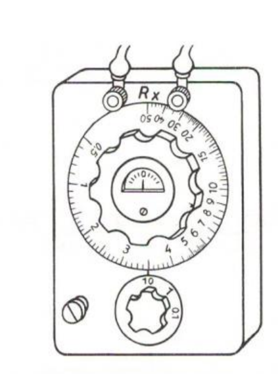
الحل : ينقسم سلك القياس بالنسبة : $\frac{l_1}{l_2} = \frac{200\,mm}{800\,mm} = \frac{1}{4}$.

وبنفس النسبة ينقسم طول الكبل من D الى الاتصال بالأرض ومن الاتصال بالأرض الى C $\frac{3{,}2\,km}{12{,}8\,km}$.

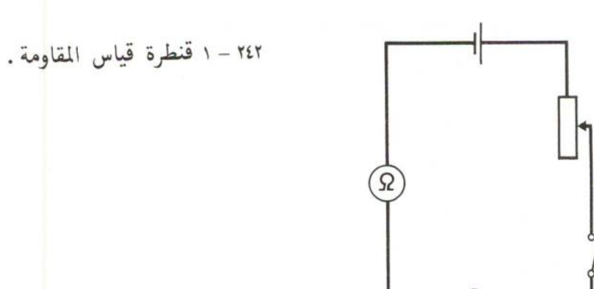
إذاً يقع الاتصال بالأرض على بعد 3,2 km من D .

الحل الجبري : $\frac{200}{800} = \frac{x}{16 - x};\ 16 - x = 4\,x;\ x = 3{,}2\,km$.

يؤثر الخطأ الصغير في القراءة على نتيجة القياس تأثيرا ضئيلا ، إذا اختير الطولان l_1 و l_2 متساويين تقريبا . ولكن يمكن أن تكون نتيجة القياس ذات خطأ كبير إذا كان الطولان لنفس خطأ القراءة مختلفين اختلافا كبيرا (انظر نتائج القياس في التجربة ٧٤) .



١ – ٢٤٢ قنطرة قياس المقاومة .



٢ – ٢٤٢ رسم تخطيطي لأومتر .

مثال : استخدمت في التجربة (٧٤) أربع مقاومات مختلفة للمقارنة . وطبقا لما ذكر من قبل ، يجب عند كل قياس في التجربة أن يؤثر الخطأ الثابت بنسب مئوية مختلفة ، وفقا لكبر النسبة l_1/l_2 . فإذا فرض في كل القياسات الأربعة أن القراءة قد تمت بخطأ مقداره علامة تدريج واحدة الى اليمين ، فإننا نحصل في القياس الأول بدلا من 98 Ω للمقاومة R_x على مقاومة قدرها 101,4 Ω ، وتكون بذلك القيمة المقاسة أكبر بنسبة 4% ، وتقاس مقاومة قدرها 198 Ω في القياس الأخير بدلا من 98 Ω فتكون القيمة المقاسة لنفس الخطأ في القراءة أكبر بنسبة 102,04% .

مقاومة المقارَنة R	القيمة الحقيقة l_1/l_2	القيمة الحقيقة R_x	القيمة مع الخطأ في القراءة بمقدار علامة تدريج l_1/l_2	القيمة بأخذ خطأ القراءة في الاعتبار R_x	النسبة المئوية لزيادة R_x عن القيمة الحقيقية
98 Ω	50:50	98 Ω	51:49	101,42 Ω	4 %
42 Ω	70:30	98 Ω	71:29	102,82 Ω	4,91%
24,5 Ω	80:20	98 Ω	81:19	104,44 Ω	6,57%
2 Ω	98: 2	98 Ω	99: 1	198 Ω	102,04%

لا يمكن قياس مقاومة السوائل والارض بواسطة التيار المستمر ، لأنه يحدث خطأ في نتيجة القياس لقنطرة قياس بالتيار المستمر بسبب التحللات الكهربائية . ويستخدم مولد يدوي صغير يولد جهدا مترددا كمنبع جهد في هذه الحالة . ولاتزان القنطرة تستخدم سماعة رأس بدلا من جهاز القياس ذى الملف المتحرك . وعندما يكون الجهد بين B و D (شكل ٢٤١–١) صفرا ينقطع الطنين .

١٣–٥–٨ قراءة قيمة المقاومة مباشرة على مقياس المقاومة الأومية (الأومتر) (شكل ٢٤٢–٢)

مقياس المقاومة طبقا لنظرية الأومتر هو في أبسط صوره أمبيرمتر مع منبع جهد ثابت بقدر الإمكان (بطارية مصباح جيب) . وتبعا لقانون أوم تتحدد قيمة المقاومة تحت جهد ثابت بواسطة التيار I فقط ، فينتمي لكل مقاومة تيار معين . فإذا ماتمت معايرة التدريج بالأوم بدلا من الأمبير ، فإننا نحصل على أبسط أنواع مقاييس المقاومة .

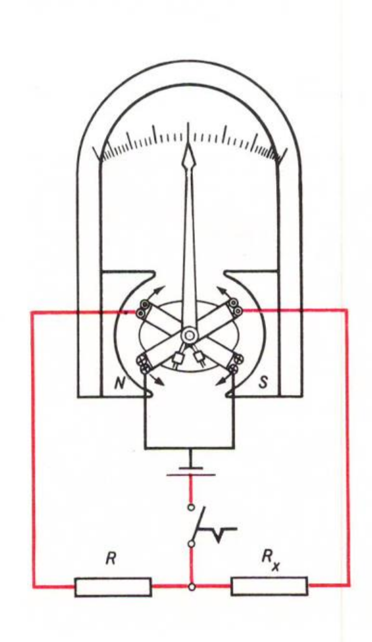
ويكون بأجهزة القياس متعددة الأغراض المنتجة في الصناعة عادة تدريج أومي علاوة على تدريجي قياس التيار والجهد ، يمكن بواسطتها قياس المقاومة أيضا طبقا لنظرية الأومتر . إلا أن القياس يكون دقيقا عند جهد ثابت فقط . ولذا يجب استبدال البطاريات إذا تعذر ضبط نقطة المعايرة .

تعمل المولدات اليدوية المستخدمة في قياس مقاومة العزل في المنشآت الكهربائية طبقا لنظرية الأومتر. ويستخدم مولد تيار مستمر أو تيار متردد صغير مع مقوم كمنبع للجهد. ولتلافي الإدارة اليدوية المرهقة للمولد، تصنع أيضا مقاييس للعزل تعمل ببطارية مصباح جيب كمنبع للجهد. ويتم بهذه الأجهزة تقطيع التيار ثم رفع الجهد بواسطة محول ثم تقويمه ثانية.

يجرى القياس بالتيار المستمر في الحياة العملية لكي نتجنب تأثير سعة الخط. وطبقا لتعليمات VDE لايسمح للتيار المتسرب المطلوب قياسه بأن يتجاوز مليّ أمبير واحد. ويقيس الجهاز القيمة المناظرة للمقاومة بالأوم.

١٣-٥-٩ القراءة الدقيقة لأجهزة قياس المقاومة بترتيبة القياس ذات الملفين المتصالبين (المتعارضين) مع تغيير جهد القياس (شكل ٢٤٣-١)

جهاز القياس ذو الملفين المتعارضين هو جهاز قياس ذو ملفين متحركين متصالبين ومثبتين معا في مجال مغنطيسي دائم. ولا يكون هذا المجال متساوي الشدة عند كل نقطة نتيجة للشكل الخاص لحافظة القطبين. ولا يوجد للملفين زنبركات موجهة، أي أنهما يستقران عند أي وضع إذا مر فيهما تيار. ويوصل التيار إلى الملفين خلال شرائط خفيفة جدا قابلة للانحناء. ويولد كل من الملفين مجالا مغنطيسيا كلاً على حدة، فإذا مر فيهما نفس التيار كان المجالان متضادين في التأثير بحيث لا يحدث أي دوران، أما إذا كان مرور التيار في الملفين مختلفاً فتنتج محصِّلة للمجالين تسبب دورانا في أحد الاتجاهين. وتوصل مقاومة R ذات قيمة معلومة في دائرة أحد الملفين وتوصل المقاومة R_x المراد قياسها في دائرة الملف الثاني. ويعتمد التيار في الملفين على قيمتي المقاومتين فقط، إذا كان الجهد متساويا، أي أن إنحراف المؤشر لا يصبح متوقفا على الجهد بل على النسبة بين تياري الملفين. ويقوم الأومتر ذو الملفين المتصالبين بقياس النسبة بين تيارين وذلك بدلا من قياس كل تيار على حدة ثم تعيين النسبة بالحساب (طريقة مقارنة التيارات).



٢٤٣-١ رسم تخطيطي لأومتر ذي ملفين متصالبين.

ملاحظة : في قياس المقاومة بواسطة جهاز القياس ذي الملفين المتصالبين لا تعتمد نتيجة القياس على مقدار الجهد الموصل والذي يمكن أن يتخذ أي قيمة مع بقاء القراءة ثابتة دائما.

إذا رمز لمقاومتي الملفين بالرمزين R_1 و R_2 فإن :

$I_R = \frac{U}{R + R_2}$ و $I_x = \frac{U}{R_x + R_1}$.

وإذا كانت R_x أكبر كثيرا من R_1 و R أكبر كثيرا من R_2 ينتج أن :

$$\frac{I_x}{I_R} = \frac{R}{R_x}$$

يتوقف وضع المؤشر على نسبة المقاومتين (R_x/R) .

تمرينات

١ – ارسم دائرة القياس إذا أريد قياس مقاومة أومية صغيرة بواسطة أمبيرمتر وڤولطمتر .

٢ – ما هي الشروط الواجب توافرها في أمبيرمتر جيد؟

٣ – ما هي شدة التيار الذاتي لترتيبة قياس ڤولطمتر ، إذا كان مكتوبا على لوحة التدريج : 1000 Ω/V؟

٤ – استخدم أمبيرمتر مجاله 5 A لقياس تيار شدته 0,5 A ، ما وجه الاعتراض على ذلك؟

٥ – ما هي الإجراءات التي تتخذ لتجنب خطأ الرؤية في أجهزة القياس؟

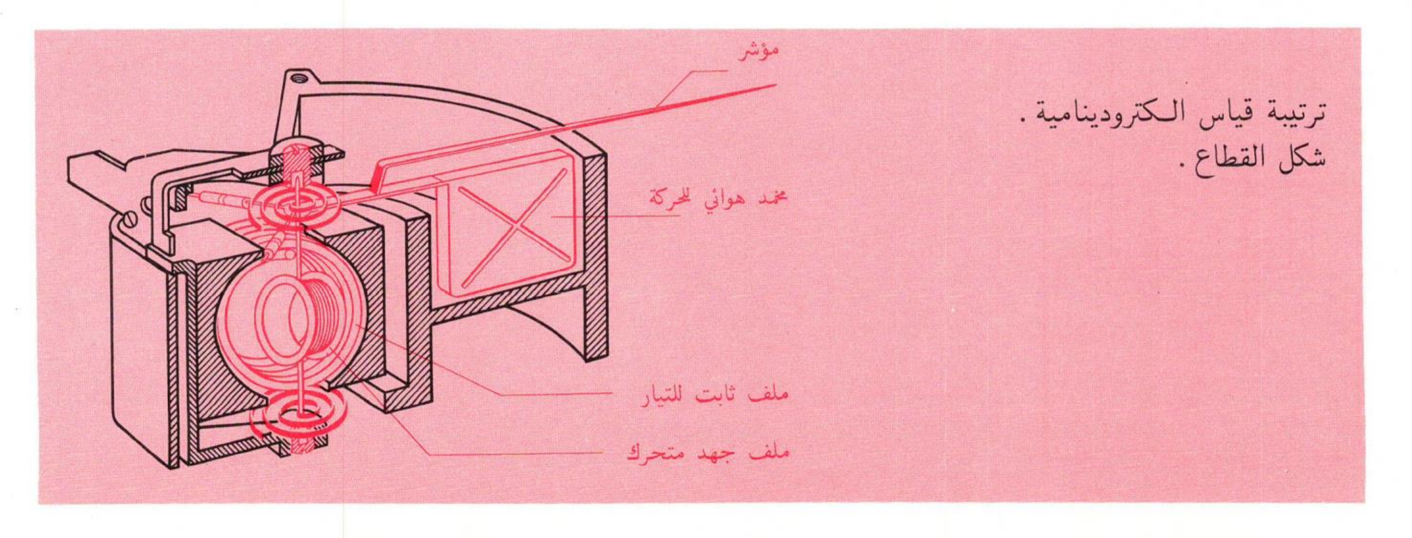
٦ – علّل عدم إمكان قياس مقاومات الأرض بواسطة التيار المستمر .

٧ – اشرح طريقة أداء ترتيبة القياس ذات الملفين المتصالبين .

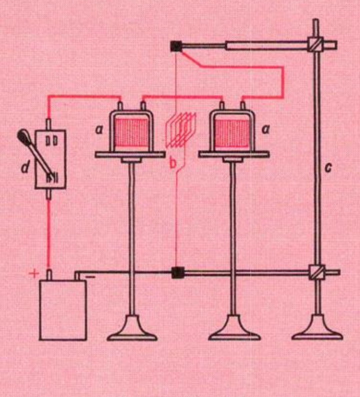
٨ – حدث تلامس بجسم الغلاف لملفات المجال لمحرك تيار مستمر ذي سته أقطاب . ارسم دائرة القياس اللآزمة للبحث عن الخطأ بواسطة قنطرة ويتستون .

١٣–٦ الواطمترات ذات ترتيبة القياس الإلكترودينامية ودوائرها

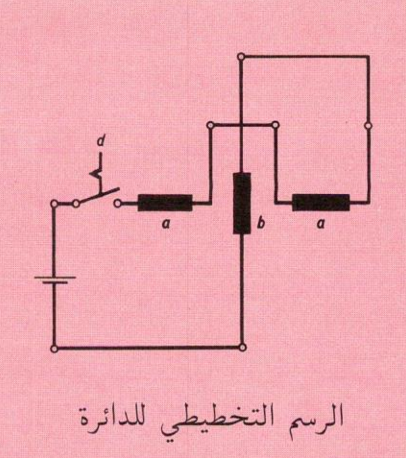
١٣–٦–١ ملاءمة ترتيبة القياس الالكترودينامية للتيارين المستمر والمتردد



ترتيبة قياس الكترودينامية .
شكل القطاع .



مخطط التجربة



الرسم التخطيطي للدائرة

التجربة ٧٥

التجربة الأساسية : ترتيبة القياس الالكترودينامية .

التجهيزات : منبع جهد مستمر من 2V الى 4V ومنبع جهد متردد من 2V الى 4V .
a = ملفان يبلغ عدد لفات كل منهما N=300 (ملفان منفصلان للمجال) .
b = ملف متحرك مع شرائط معدنية ، أنظر التجربة (٧٠) .
c = حامل ذو ماسك .
d = مفتاح

خطوات العمل : ١ - صل جهدا مستمرا على الملفين وابدأ بجهد صغير . صل المفتاح وراقب الملف .
٢ - ارفع الجهد بانتظام وراقب ما إذا كان إنحراف الملف يزداد بانتظام مع الزيادات المتساوية في الجهد .
٣ - إعكس أطراف منبع الجهد وكرر الخطوة السابقة .
٤ - كرر نفس التجربة باستخدام الجهد المتردد .

المشاهدة : في الخطوة (١) : يدور (ينحرف) الملف المتحرك في المجال الكهربائي للمغنطيس .
في الخطوة (٢) : مقدار الانحراف هو مقياس للتيار المار في الملف . ولا يتناسب انحراف الملف المتحرك مع شدة التيار طرديا . يكون الانحراف في البداية صغيرا ثم يزداد بسرعة مع ازدياد التيار .
في الخطوة (٣) : نفس الملاحظة مثل الخطوة (٢) . ينحرف الملف في نفس الاتجاه .
في الخطوة (٤) : نفس الملاحظة مثل الخطوتين (١) و (٢) .

النتيجة : تصلح ترتيبة القياس الالكترودينامية للتيار المستمر والمتردد ، حيث أن اتجاه دوران الملف المتحرك لا يتوقف على اتجاه التيار .

١٣-٦-٢ تركيب وطريقة عمل ترتيبة القياس الالكترودينامية (الشكل صفحة ٢٤٤)

تصنع ترتيبة القياس الالكترودينامية غالبا كأجهزة لقياس القدرة (واطمتر) ، ويكون ملف التيار ثابتا ويولد المجال المغنطيسي ، الذي يتولد في ترتيبة القياس ذات الملف المتحرك بواسطة المغنطيس الدائم . ويجري توصيل ملف الجهد القابل للدوران بسهولة الى أطراف الدائرة مثل توصيل الڤولطمتر .

ويمر تيار متناسب طرديا مع تيار القياس في ملف التيار أثناء القياس . وينشأ مجال مغنطيسي تتناسب كثافته طرديا كذلك مع التيار . ويمر تيار قياس يتناسب طرديا مع الجهد خلال ملف الجهد ، فينشأ نتيجة لذلك مجال دوار

يناظر القدرة الفعالة المراد قياسها. ويدور الملف المتحرك حتى يتعادل عزم المجال مع عزم دوران معاكس ناتج من زنبركين حلزونيين، ويقوم الزنبركان بتوصيل تيار القياس الى ملف الجهد في نفس الوقت، وعن طريق خلية هوائية لتخميد الحركة يصل المؤشر الى وضعه سريعا وبدون إهتزاز تقريبا.

يكون للواطمترات المستعملة في لوحات التحكم عادة ترتيبات قياس كهربائية ذات إطار حديدي. وتحاط ترتيبة القياس في أجهزة القياس هذه بحلقة حديدية متحدة معها في المركز، فيزيد الاطار الحديدي المغلق من عزم الدوران الناشئ بنسبة كبيرة ويحجب كذلك المجالات الخارجية عن ترتيبة القياس. وتقسم التدريجات في أجهزة القياس ذات الإطار الحديدي بتقسيمات متساوية.

تصنع الواطمترات ذات الدقة العالية خالية تماما من الأجزاء الحديدية (شكل ٢٤٦-١).
وبذلك يمكن التوصل الى تطابق يكاد يكون كاملا بين قراءات التيار المستمر والمتردد. وتستخدم مادة خزفية فقط كدعامات (حوامل) لترتيبة القياس. وتستخدم عادة ترتيبة قياس لا إستاتية لإلغاء تأثير المجالات الخارجية على ترتيبة القياس، وهي تتكون من ملفي تيار وجهد متماثلين، ويكون اتجاه اللف لملف الجهد العلوي مضادا لإتجاه لف الملف السفلي، وينطبق نفس الوضع على ملفي التيار. وبذلك تجمع عزوم الدوران الناشئة من الكميات المقاسة في كلا الملفين، بينما يكون تأثير المجالات الخارجية في اتجاهين متضادين فيلغي أحدهما تأثير الآخر.

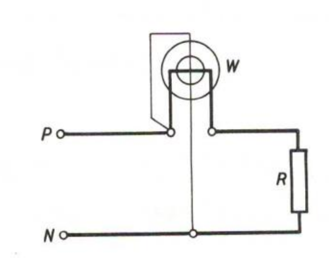
١٣-٦-٣ الواطمتر في دوائر التيار المستمر

وصِّل فرع قياس الجهد قبل مسار قياس التيار في الدائرة المبينة بشكل (٢٤٦-٢) في الإتجاه من مولد الجهد الى المستهلك R. ويكون الجهد على المستهلك أصغر من الجهد على فرع قياس الجهد بمقدار هبوط الجهد في مسار قياس التيار وتكون القدرة الحقيقية أصغر من تلك المبينة في الواطمتر.

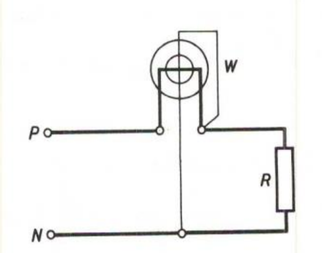
يكون فرع قياس الجهد موصلا خلف مسار قياس التيار في الدائرة المبينة بشكل (٢٤٦-٣). ولا يمر تيار المستهلك في مسار قياس التيار وحده، وإنما يمر كذلك التيار المار في فرع قياس الجهد، وتكون القدرة الحقيقية أصغر من تلك المبينة في الواطمتر.

وللحصول على قياسات دقيقة وخاصة في حالة القدرات الصغيرة يصبح من الضروري تصحيح خطأ القياس بالحساب. وتوجد مقاييس قدرة تعادل خطأ القياس ذاتيا بواسطة ملف خاص. أما للقدرات الكبيرة فإنه يمكن الإستغناء عن التصحيح، لأن النسبة المئوية لخطأ القياس تكون صغيرة.

٢٤٦ - ١ رسم تخطيطي لترتيبة قياس إلكترودينامية لا إستاتية.



٢٤٦ - ٢ واطمتر في دائرة تيار مستمر.
يقع فرع قياس الجهد قبل مسار قياس التيار.



٢٤٦ - ٣ واطمتر في دائرة تيار مستمر.
يقع فرع قياس الجهد بعد مسار قياس التيار.

زيادة مجال قياس واطمتر للتيار المستمر . يمكن انجاز ذلك بطريقتين : إما بزيادة مسـار قياس التيار بواسطة مجزّئ تيار R_p ، أو بزيادة مجال فرع قياس الجهد بواسطة مقاومة حماية (مقاومة توال) R_s . ومن النادر اتباع طريقة توسيع مسـار قياس التيار بواسطة مجزّئات التيار لأن نتيجة القياس تصبح غير دقيقة بدرجة كبيرة . تستخدم في التطبيق العملي ميزة تقسيم ملف التيار . فيوصل نصفا الملف على التوالي للتيارات الصغيرة ، أما للتيارات الكبيرة فيوصلان على التوازي . وتنتج في الصناعة أيضا واطمترات للتيار المستمر تكون ملائمة لمجزئات التيار (شكل ٢٤٧–١أ) .

في شكل (٢٤٧–١ب) يزداد مجال فرع قياس الجهد بواسطة مقاومة حماية (مقاومة توال) R_s . ولهذه الدائرة عيب وهو أن جهد المنبع الكامل يكون موصّلا في داخل جهاز القياس بين مسـار قياس التيار وفرع قياس الجهد . ويكون هذا التوصيل سليما من وجهة نظر هندسة الدوائر الكهربائية ، إلا أن المكان يكون ضيقا في جهاز القياس ، ولذا تكمن خطورة حدوث شرارات تفريغ كهربائي عند الجهود العالية . وفي الدائرة المبينة بشكل (٢٤٧–١ ج) يوصل كل من مسـار قياس التيار وفرع قياس الجهد على نفس الطرف ، وبذلك يمكن تجنب خطورة حدوث شرارات التفريغ الكهربائية .

ملاحظة : يجب وصل طرف من مسـار قياس التيار مباشرة مع طرف من فرع قياس الجهد دائما .

مثال : يلزم قياس قدرة محرك تيار مستمر بواطمتر 30 V و 5 A . مامقدار الطاقة التي يسحبها المحرك ، إذا وصلت مقاومة حماية (مقاومة توال) R_s مقدارها 14 000 Ω مع فرع قياس الجهد الذي تبلغ مقاومته 1000 Ω لزيادة مدى القياس وأشـار المؤشر الى 100 W؟

الحل : يسمح بمرور تيار بدون مقاومة الحماية في فرع قياس الجهد شدته : $I=\frac{30\ V}{1000\ \Omega}=0{,}03\ A$. وتبلغ مقاومة فرع قياس الجهد مع مقاومة التوالي 15 000 Ω ، وبذلك يزداد مجال فرع قياس الجهد الى 15 ضعفاً ليصبح : $U=0{,}03\ A\cdot 15\ 000=450\ V$.

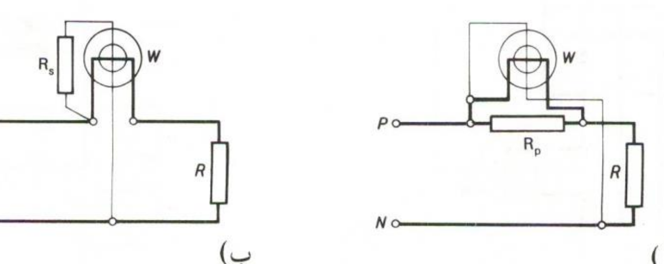
وطبقا لذلك تضرب أيضا قيمة القياس المقروءة في 15 . وعلى ذلك يسحب المحرك قدرة قدرها : $P=15\cdot 100\ W=1500\ W$.

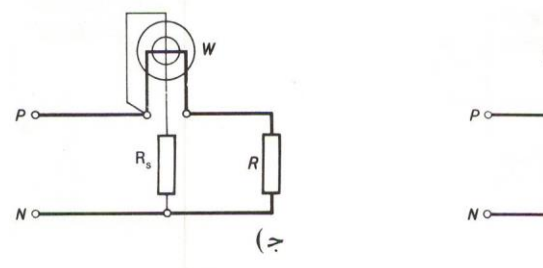
١٣–٦–٤ الواطمتر في دوائر التيار المتردد

لا يمكن تعيين قدرة التيار المتردد $P=U\cdot I\cdot \cos\varphi$ عن طريق قياس التيار والجهد ، إذا كان معامل القدرة $\cos\varphi$ غير معلوم .

ملاحظة : يبين الواطمتر القدرة الفعالة للتيار المتردد : $P=U\cdot I\cdot \cos\varphi$ في دائرة تيار متردد .

٢٤٧ - ١ واطمتر مع أ) مجزئ تيار لمسار قياس التيار . ب) وضع مقاومة حماية (مقاومة توال) في فرع قياس الجهد خطأ . ج) وضع مقاومة حماية (مقاومة توال) في فرع قياس الجهد صواب .





من السهل إدراك النظرية التالية : عند وجود إزاحة طَورية بين التيار والجهد مقدارها 90° يكون التيار في لحظة معينة عند قيمته العظمى عندما يمر الجهد بالصفر . ولا يمكن حدوث أي تأثير للقوة من ملف على آخر طبقا لذلك ، ولا ينحرف المؤشر . أما اذا كان التيار مزاحا على الجهد بأقل من 90° ، فإن مؤشر جهاز القياس يعطي انحرافا يتوقف على زاوية الازاحة الطورية ، بالاضافة إلى توقفه على الجهد والتيار .

زيادة مجال قياس واطمتر التيار المتردد ، تكون مسارات قياس التيار مصممة في واطمترات التيار المتردد بوجه عام لتيار شدته 5 A وفروع قياس الجهد مصممة لجهود حتى 6000 V ، في القياسات المباشرة . وتستخدم محولات تيار للتيارات الأكبر ، ومحولات جهد أو مقاومات حماية (مقاومات توال) للجهود الأعلى (شكلا ٢٤٨-١أ و ٢٤٨-١ب) .

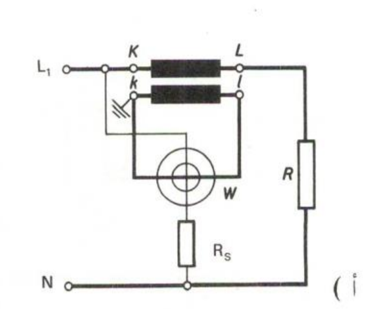
١٣-٦-٥ الواطمتر في دوائر التيار ثلاثي الأطوار

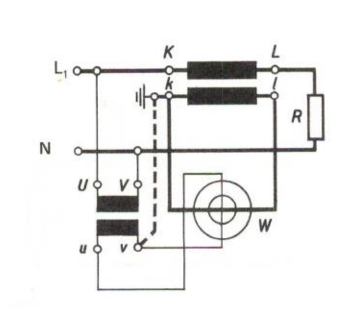
يكتفى بواطمتر واحد فقط في دوائر التيار ثلاثي الأطوار ، إذا كانت الأطوار الثلاثة محملة تحميلا متساويا (بالمحركات على سبيل المثال) . أما اذا كان الوصول إلى نقطة التفرّع النجمي سهلا فيوصل الواطمتر بأحد الأطوار الثلاثة ، ولكن يجب الانتباه إلى ضرورة توصيل فرع قياس الجهد بين نقطة التفرع النجمي والخط الخارجي الموصل به مسار قياس التيار (شكل ٢٤٨-١ج) . ويكون للجهد في الخطين الخارجين الآخرين نفس القيمة ولكنه يكون مختلفاً في الطور وتبعا لذلك يختلف أيضا انحراف مؤشر جهاز القياس .

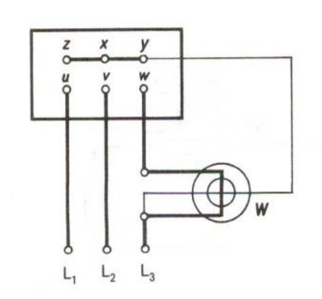
إذا تعذر الوصول الى نقطة الاتصال النجمي أو تعذر فتح المثلث في الاتصال المثلثي ، يمكن تكوين نقطة تفرع نجمي خارجية باستعمال ثلاث مقاومات متساوية المقدار . ويجب أن تكون مقاومة فرع قياس الجهد R_{pot} بالاضافة الى R_2 مساوية تماما للمقاومة R_1 أو R_3 (شكل ٢٤٩-١أ) . ويمكن أن نحصل على قدرة التيار ثلاثي الأطوار في التحميل المتساوي بضرب القدرة المقاسة بالواطمتر لطور واحد P_{ph} في ثلاثة أي $P=3 \cdot P_{ph}$. وتوجد أيضا واطمترات ذات تدريجات مرقَّمة بحيث تقرأ قدرة التيار ثلاثي الأطوار مباشرة .

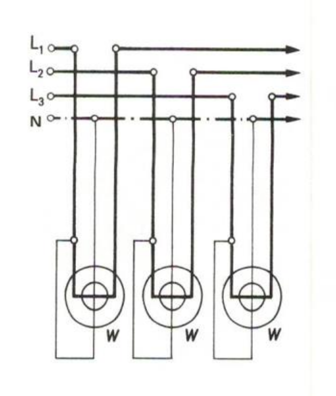
كما يمكن استخدام دائرة الواطمترين (دائرة آرون) في دوائر التيار ثلاثي الأطوار غير متساوية التحميل بدون الموصل المحايد . ويجب استخدام واطمترين على الأقل في التحميل غير المتساوي للأطوار (في دوائر الاضاءة مثلا) (شكل ٢٤٩-١ب) ، فيوصل مساري قياس التيار لجهازي القياس في خطين خارجين لنظام التيار ثلاثي الأطوار ، ويوصل فرعي قياس الجهد بين كل من هذين الخطين والخط الخارجي الثالث . ويعطي مجموع قراءتي جهازي القياس قدرة التيار ثلاثي الأطوار في الأطوار الثلاثة : $P=P_1+P_2$. وليس من الضروري في هذه الحالة أن يكون انحرافا جهازي القياس

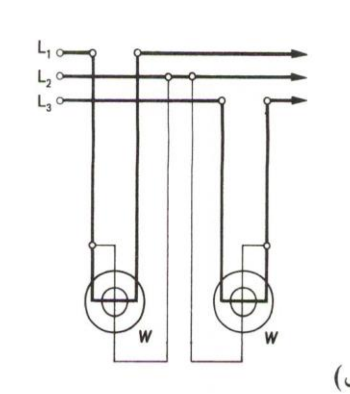
٢٤٨ - ١ واطمتر أ) للتيار المتردد مع مقاومة حماية (مقاومة توال) ومحول تيار . ب) للتيار المتردد مع محول جهد ومحول تيار . ج) للتوصيل النجمي للتيار ثلاثي الأطوار مع التحميل المتساوي للأطوار .

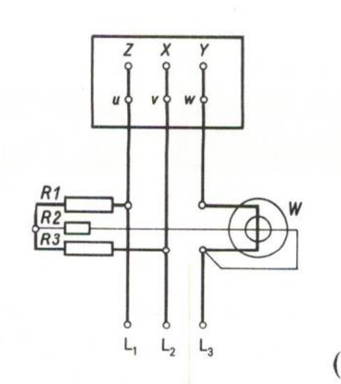












٢٤٩ - ١ واطمتر أ) بنقطة تفرع نجمي خارجية وتحميل متساو للأطوار . ب) في دائرة آرون لنظام تيار ثلاثي الأطوار ذي ثلاثة موصلات بتحميل اختياري . ج) لنظام تيار ثلاثي الأطوار ذي أربعة موصلات بتحميل اختياري .

متساويين كما في حالة التحميل المتساوي للأطوار . ويختلف انحرافا المؤشرين عن بعضهما تبعا للإزاحة الطورية الناشئة في الشبكة بسبب الأحمال . ويمكن انحراف أحد جهازي القياس في الاتجاه السالب ، وعندئذ يجب طرح هذه القيمة من القيمة الأخرى .

تستخدم ثلاثة واطمترات (توصيلة الواطمترات الثلاثة) للقياسات المتناهية الدقة لقدرة التيار ثلاثي الأطوار في دوائر ذات أربعة موصلات بتحميل إختياري ، ويمكن كذلك ظهور أخطاء ضئيلة أيضا في نظام متساوي التحميل (شكل ٢٤٩-١ ج) .

تعطي دائرة آرون نتيجة قياس صحيحة فقط ، إذا كان المجموع الهندسي للتيارات الثلاثة مساويا للصفر . وفي النظم ذات الثلاثة موصلات يكون هذا الوضع حتميا ، أما في الدوائر ذات أربعة موصلات غير متساوية التحميل فلا يتحقق هذا الشرط دائما . ولذا لا تستخدم دائرة آرون في هذه الحالة ، ويجب في هذه الحالة أيضا استخدام دائرة الواطمترات الثلاثة وحينئذ يعطي مجموع نتائج القياسات الثلاثة قدرة التيار ثلاثي الأطوار $P=P_1+P_2+P_3$.

تمرينات

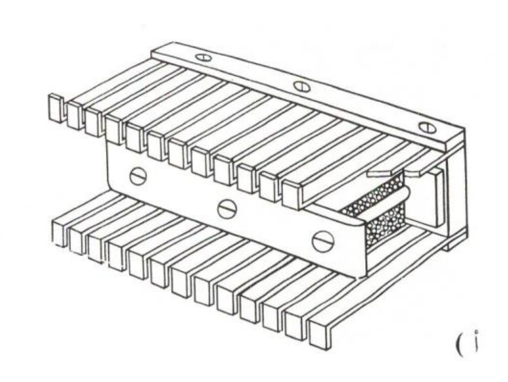
١ - لماذا يفضل التخميد الهوائي للحركة في أجهزة القياس الألكتروديناميكية؟

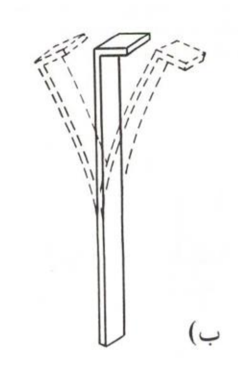
٢ - ما الذي يجب عمله إذا انحرف مؤشر الواطمتر انحرافا خاطئا؟

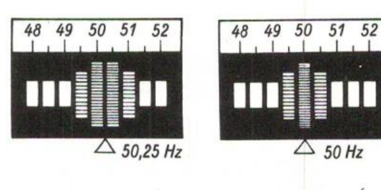
٣ - كيف يمكن زيادة مجال قياس الواطمتر؟ ارسم رسومات تخطيطية لكل الطرق الممكنة .

٤ - ماذا تعني ترتيبة القياس ذات الاطار الحديدي؟

٥ - في واطمتر (شكل ٢٤٧-١) لتيار 10 A وجهد 30 V تبلغ مقاومة ملف الجهد $R=1000\ \Omega$.
ما مقدار القدرة التي يسحبها محرك موصل على الواطمتر إذا بلغت مقاومة التوالي $R_s=10\ k\Omega$ وكانت قراءة الواطمتر 390 W؟







٢٥٠ - ١ مقياس تردد ذو قصبات (ريش) اهتزاز .
أ) ترتيبة من صفي ريش زنبركية .
ب) ذبذبة ريشة زنبركية .
ج) و د) تدرج مقياس تردد ذي ريش اهتزاز .

١٣-٧ مقياس التردد - عداد الكهرباء

يستخدم مقياس التردد ذو القصبات المهتزة (الريش المهتزة) لقياس عدد دورات التيار المتردد .

١٣-٧-١ تركيب وطريقة عمل مقياس التردد ذى القصبات المهتزة (ريش الاهتزاز) (شكل ٢٥٠-١)

تستخدم الخاصية الفيزيائية في مقياس التردد ذى الريش المهتزة حيث أن الأعضاء ذات القدرة على التذبذب (الريش الفولاذية مثلا) تبدأ في التذبذب الميكانيكي إذا استثيرت بترددها الطبيعي (الرنين) (شكل ٢٥٠-١ ب) . وحيث أن التردد الطبيعي يتوقف على طول ووزن ومادة الريشة المستخدمة فإنه يمكن تحديدها مسبقا .

يستثار عدد من النوابض الفولاذية ذات ذبذبات طبيعية متدرجة ومتقاربة بواسطة مغنطيس كهربائي في مقياس التردد ذي الريش المهتزة . فإذا ما وصّل جهد متردد على طرفي المغنطيس الكهربائي فإن الريشة التي يساوي ترددها الطبيعي تماما عدد مرات تغير الجهد (تغيران = دورة واحدة) المتصل ، تبدأ في التذبذب . وإذا ما وضع أمام الملف مغنطيس دائم يؤثر مجاله على النوابض الفولاذية (تصبح الريش منحازة أو مشدودة مغنطيسيا) ، فإنه يمكن التوصل الى ظهور ذبذبة واحدة للريشة لكل دورة للتيار المتردد . وتتذبذب الريشة عندما يكون المجال المتردد المتولد من المغنطيس الكهربائي مضادا في الاتجاه لمجال المغنطيس الدائم فقط . وفي التطبيق العملي يتحدد عدد الريش الفولاذية بحيث تتذبذب إحدى الريش تذبذبا كاملا بينما تتذبذب معها الريشتان المجاورتان باتساع ذبذبة أقل . وبذلك يمكن قراءة القيم البينية بوضوح . وفي شكل (٢٥٠-١ ج) تتذبذب الريشة ذات التردد f=50 Hz تذبذبا كاملا وشديدا ، في حين تتذبذب معها الريشتان f=49,5 Hz و f=50,5 Hz تذبذبا أضعف لكنه متساوي الشدة . وتبعا لذلك يبلغ التردد f=50 Hz تماما . وفي شكل (٢٥٠-١ د) تتذبذب الريشتان بذبذبات f=50,5 Hz و f=50 Hz وبشدة متساوية . لذلك يقع التردد الصحيح بينهما (f=50,25 Hz) . ويوصل مقياس التردد مثل الڤولطمتر بين الموصلين ، وليس لقيمة الجهد تأثير على دقة القراءة . وعلى ذلك فإنه يمكن بلاشك تجاوز مقدار الجهد الإسمي المدون على جهاز القياس وذلك في حدود ±10% .

ولا تكفي دقة قراءة مقياس التردد ذي الريش المهتزة للمراقبة الدقيقة للتردد (في محطات التوليد الكبيرة مثلا) . ففي هذه الحالة تستخدم مقاييس تردد ذات مؤشر .

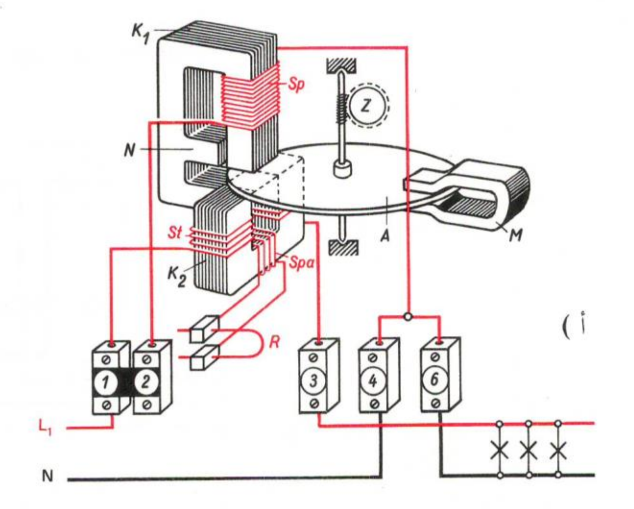
١٣-٧-٢ تركيب وطريقة عمل العداد الحثي للتيار المتردد (شكل ٢٥١-١أ)

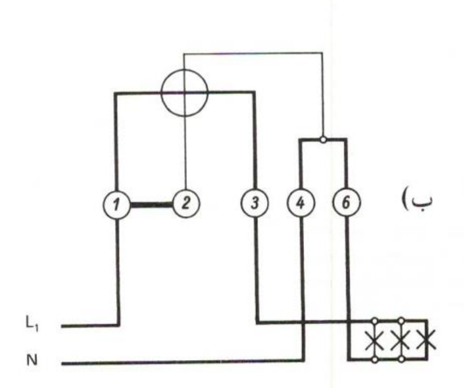
تستخدم العدادات الحثية في جميع منشآت التيار المتردد والتيار ثلاثي الأطوار تقريبا. وتقيس هذه العدادات الشغل الكهربائي بالكيلواط ساعة kWh. وفي نظام عداد القياس الحثي يجري حساب القدرة الفعالة $P=U \cdot I \cdot \cos\varphi$ وهو يحتوي - مثل الواطمتر - على ملف تيار بعدد قليل من اللفات من سلك ثخين وملف جهد بعدد كبير من اللفات من سلك رفيع.

ويحمل قلب رقائق الصلب (K_1) ملف الجهد (Sp)، ويوزع ملف التيار (St) على جانبي قلب رقائق الصلب (K_2). وعند توصيل جهد، ينشأ مجال مغنطيسي في قلب ملف الجهد تتناسب قيمته مع الجهد. وينتج التيار الذي يمر خلال الجهاز المستهلك مجالا مغنطيسيا في قلب مغنطيس التيار أيضا، وتتناسب شدته مع شدة التيار. عند التحميل اللاحثي للشبكة ($\cos\varphi=1$)، يجب أن يكون بين المجالين المغنطيسيين إزاحة طَوْرية قدرها حوالي 90°. ويتم التوصُّل إلى إزاحة طورية بمقدار 90° بالتقريب عن طريق محاثة ملف الجهد ذي العدد الكبير من اللفات. ويمكن عمل الضبط الدقيق للزاوية 90° بالاستعانة بوصلة للمسار المغنطيسي الفرعي (N)، قابلة للتغيير وبملف على قلب ملف التيار (Spa) مع مقاومة متغيرة (R).

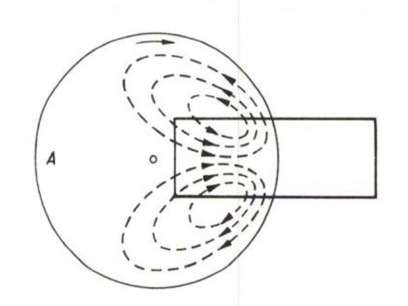
وعن طريق المجالين المغنطيسيين المترددين اللذين يكون بينهما إزاحة طورية، تنشأ تيارات دوّامية في القرص الدوار (A) المصنوع من الألومنيوم، والتي تتنافر مع بعضها البعض وتؤدي تبعا لذلك لدوران القرص.

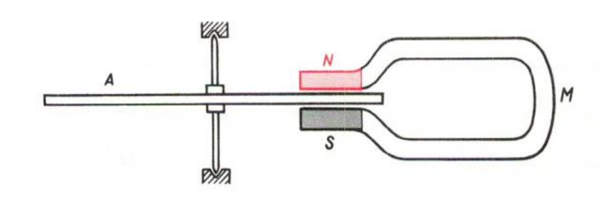
ويقوم القرص الدوار بوظيفة أخرى وهي ملاءمة سرعة دوران محور العداد (Z) للحمل الموجود. لذا يدور القرص بين قطبي مغنطيس دائم (M)، فينتج بذلك تيارات دوامية تؤثر على القرص تأثيرا مخمِّدا للحركة (شكل ٢٥٢-١)، بحيث تكون السرعة الزاوية لقرص العداد متناسبة دائما مع الحمل. ويعد العداد عدد دورات القرص، كما يتم تخفيض نسبة السرعة بالتروس بحيث تبين القراءة بالكيلواط ساعة مباشرة.





٢٥١-١ أ) رسم تخطيطي لعداد حثي أحادي الطور. ب) مخطط التوصيل لعداد حثي أحادي الطور ذو قطب مفرد.





٢٥٢ - ١ تنشأ تيارات دوامية مخمدة للحركة في القرص الدوار عند دورانه.

١٣-٧-٣ عداد استهلاك الطاقة للتيار ثلاثي الأطوار

تستخدم في شبكات التيار ثلاثي الأطوار ذات الأربعة موصلات عدادات حثّية ثلاثية الأطوار، (شكل ٢٥٢-٢). وتتكون ترتيبة القياس في حالة التحميل غير المتساوي للأطوار من ثلاثة نظم من العدادات مناظرة للشكل (٢٥٢-١ ب).

وفي حالة الجهود العالية أو التيارات الكبيرة توصل محولات جهد أو محولات تيار مع العداد (عداد بمحول).

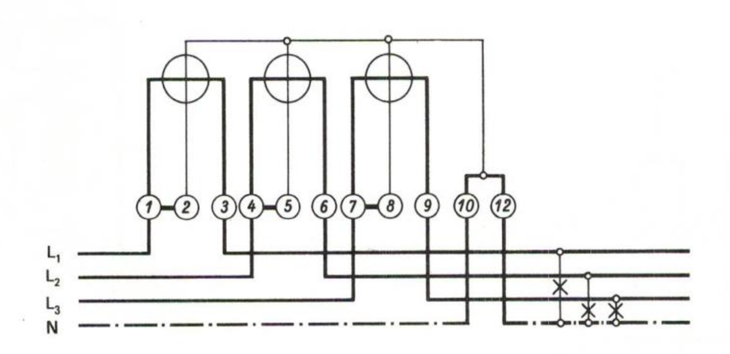
تمرينات

١ - المطلوب اختبار عداد للتيار المتردد 220 V و 10 A يبلغ عدد دورات قرصه الدوار 600 دورة لكل كيلواط ساعة (ثابت العداد). إذا بيّن الأمبيرمتر الموصل في دائرة ملف التيار 8 A وبيّن الفولطمتر الموصل على التوازي مع ملف الجهد 220 V، فما نسبة الخطأ في قراءة العداد إذا ضبطت الإزاحة الطورية بواسطة مُزيح طوري على $\cos \varphi = 0,9$ ودار القرص الدوار 150 دورة في ست دقائق؟

٢ - يراد قياس التردد في منشأة تيار متردد. ارسم رسما تخطيطيا لدائرة القياس.

٣ - لماذا يجب أن تتركب قلوب ملف الجهد وملف التيار بالعدادات من رقائق الفولاذ؟

٢٥٢ - ٢ مخطط توصيل عداد حثي لنظام ثلاثي الأطوار ذي أربعة موصلات.



ملحق أبجدي للمصطلحات الفنية

عربي	ألماني	إنجليزي	رقم الصفحة
« أ »			
إزاحة طورية – إزاحة الطور	Phasenverschiebung	phase displacement	١٧٩
إستثارة ذاتية	Eigenerregung	self-excitation	١١٥
استهلاك ذاتي	Eigenverbrauch	internal consumption	٢٢٣
أكسدة أنودية (عملية إلوكسال)	Eloxalverfahren	anodic oxidation (eloxation)	٩٠
الجذر التربيعي لمتوسط المربعات	quadratischer Mittelwert	root mean square value	١٦٩
السلسلة الكهروكيميائية للجهد	elektrochemische Spannungsreihe	electrochemical series	٩٣
إلكتروليت	Elektrolyt	electrolyte	٨٨
إلكترون	Elektron	electron	١٠
المكافئ الكهربائي الكيميائي	elektrochemisches Äquivalent	electrochemical equivalent	٩١
المنحنى الأنشوطي للتخلف المغنطيسي	Hysteresisschleife	hysteresis loop	١٣٠
ألومنيوم	Aluminium	aluminium	٩٠
أمبيرمتر	Strommesser	ammeter	٢٢١
أنشوطة موصّلة	Leiterschleife	conducting loop	١٣٦
إنفاذية	Permeabilität	permeability	١١٧
أومّتر	Ohmmeter	ohmmeter	٢٤٢
«ب»			
بادئة	Vorsatz	prefix	٢١
بطارية	Batterie	battery	١٠٦
بندول	Pendel	pendulum	١٤٩
بيان رقمي	Digitalanzeige	digital display	٢٢١
بيرومتر إشعاعي	Strahlungspyrometer	radiation pyrometer	٨٥
«ت»			
تأثير الحجب	Schirmwirkung	screening (shielding) effect	١١٨
تأثير الحجب المغنطيسي	magnetische Schirmwirkung	magnetic schielding effect	١١٨
تأثير الحرارة	Wärmewirkung	heat effect	٢٨
تأثير كيميائي	chemische Wirkung	chemical effect	٢٩
تأثير مغنطيسي	magnetische Wirkung	magnetic effect	٣٠
تحاتٌّ كيميائي (تآكل)	Korrosion	corrosion	٩٣
تحليل بالكهرباء	Elektrolyse	electrolysis	٨٧
تحميل حثّي	induktive Belastung	inductive loading	١٧٩
تحميل سعوي	kapazitive Belastung	capacitive loading	١٩٥
تحويل الطاقة	Energieumwandlung	energy transformation	٧٠
تخلّف مغنطيسي (التخلفية)	Hysteresis	hysteresis	١٣١
تدريج جهاز القياس	Meßgerätskala	meter scale	٢٣٤
تدفّق مغنطيسي	magnetischer Fluß	magnetic flux	١١٣

عربي	ألماني	إنجليزي	رقم الصفحة
ترابط فلزّي	metallische Bindung	metallic bonding	١٥
ترتيبة (تركيبة) قياس	Meßwerk	measuring mechanism	٢٢١
ترتيبة (تركيبة) قياس إلكتروديناميكية	elektrodynamisches Meßwerk	electrodynamic measuring mechanism	٢٤٤
ترتيبة (تركيبة) قياس ذات مغنطيس متحرك	Dreheisenmeßwerk	moving-iron measuring mechanism	٢٢٧
ترتيبة (تركيبة) قياس ذات ملف متحرّك	Drehspulmeßwerk	moving-coil measuring mechanism	٢٢١
تردُّد	Frequenz	frequency	١٦٧
تردُّد الشبكة	Netzfrequenz	main frequency (power frequency)	١٥١
تردُّد طبيعي	Eigenschwingungszahl	natural frequency	٢٥٠
تردُّد عالي	Hochfrequenz	high frequency	١٦٨
تردُّد منخفض	Niederfrequenz	low frequency	١٦٨
ترمومتر المقاومة	Widerstandsthermometer	resistance thermometer	٤١
تشكيل جلفاني	Glavanoplastik	galvanoplastic art	٩٠
تصليد سطحي	Oberflächenhärtung	surface hardening	١٥٠
تفرّع التيار	Stromverzweigung	shunt branching	٥٠
تفريغ	Entladung	discharge	١٥٨
تفكّك إلكتروليتي	elektrolytische Dissoziation	electrolytic dissociation	٨٨
توصيل على التوازي	Parallelschaltung	parallel connection	٥١
توصيل على التوالي	Reihenschaltung	series connection	٤٩
توصيل متعاكس	Gegeneinanderschaltung	opposite connection	٥٧
توصيل مثلّثي	Dreieckschaltung	delta connection	٢١٨
توصيل مركّب	gemischte Schaltung	parallel-series connection	٥٤
توصيل مضاد (عكسي) على التوازي	Antiparallelschaltung	anti-parallel connection	٥٧
توصيل نجمي	Sternschaltung	star connection	٢١٢
تيار التحميل	Belastungsstrom	load current	١٠٧
تيار التسرُّب (الخلل)	Fehlerstrom	leakage current	٦٠
تيار الإزاحة	Verschiebungsstrom	displacement current	١٥٦
تيار ثلاثي الأطوار	Drehstrom	three-phase current	٦٣
تيار دوّامي	Wirbelstrom	eddy current	١٤٩
تيار عكسي	Sperrstrom	inverse current	٥٧
تيار كهربائي	elektrischer Strom	electric current	٢٣
تيار متردّد	Wechselstrom	alternating current	١٨٣
تيار متخلّف	Reststrom	residual current	١٦١
تيار مستمر	Gleichstrom	direct current	٢٧
تيار معترض	Querstrom	cross current	٥٥
تيار مفاعل	Blindstrom	reactive current	١٨٨

«ث»

عربي	ألماني	إنجليزي	رقم الصفحة
ثابت زمني	Zeitkonstante	time constant	١٤٨
ثرمستور	Thermistor	thermistor	٤٥
ثنائي أقطاب مغنطيسي	magnetischer Dipol	magnetic dipole	١١٦

عربي	ألمـاني	إنجليزي	رقم الصفحة
«ج»			
جهاز قياس	Meßgerät	measuring instrument	٢٢١
جهاز قياس متعدّد	Vielfachmeßgerät	multitester	٢٢٦
جهد اختبار	Prüfspannung	test voltage	٢٣٥
جهد أطراف	Klemmenspannung	terminal voltage	١٠٥
جهد الإشعال	Zündspannung	ignition voltage	١٤٤
جهد الخط	Leiterspannung	line voltage	٢١٣
جهد الطَّور	Strangspannung	phase voltage	٢١٣
جهد فعّال	Wirkspannung	active voltage	١٨٢
جهد كهربائي	elektrische Spannung	electric voltage	١٩
جهد (قلطية) مسلّط	Urspannung	impressed voltage	١٠٥
جهد مفاعل	Blindspannung	reactive voltage	١٨٧
جهد موصّف (إسمي)	genormte Spannung	rated voltage	٢٢
«ح»			
حث ذاتي	Selbstinduktion	self-induction	١٤٣
حجب مغنطيسي	magnetische Abschirmung	magnetic shielding	١١٨
حرارة نوعية	spezifische Wärme	specific heat	٧٨
حركة براونية	Brownsche Bewegung	Brownian movement	١٥
حلقة إنزلاق	Schleifring	slip ring	١٦٦
«خ»			
خطأ الرؤية	Parallaxenfehler	parallax error	٢٠٤
خليط من الأكسيجين والهيدروجين	Knallgas	oxyhydrogen	١٠٣
خليّة بشكل زر	Knopfzelle	button cell	٩٦
خليّة عجينيّة	Pastenzelle	paste cell	٩٦
خليّة جلفانيّة	galvanisches Element	galvanic cell	٩٢
«د»			
دائرة الشحن	Ladeschaltung	charging circuit	١٠١
دائرة رنين عكسي	Sperrkreis	anti-resonant circuit	٢٠٨
دائرة كهربائية	Stromkreis	electric circuit	٢٧
دائرة مغنطيسية	magnetischer Kreis	magnetic circuit	١٢٧
دالّة مثلثية	Winkelfunktion	trigonometric function	١٦٣
درجة جودة	Güte	quality	١٦٢
دورة	Periode	period	١٦٧
دورة (حلزون) الإلكترون	Elektronenspin	electron spin	١١٦

عربي	ألماني	إنجليزي	رقم الصفحة
«ذ»			
ذرّة	Atom	atom	٩
«ر»			
رمز	Sinnbild	symbol	٢٣٥
رمز الرتبة	Klassenzeichen	grade symbol	٢٣٤
رنين	Resonanz	resonance	٢٠٤
رنين التوازي	Parallelresonanz (Stromresonanz)	parallel resonance	٢٠٨
رنين التوالي	Reihenresonanz (Spannungsresonanz)	series resonance	٢٠٥
«ز»			
زمن الدورة	Periodendauer	duration of period	١٦٧
«س»			
سعة	Kapazität	capacity	٩٩
سعة حثّية نوعية نسبية	relative Dielektrizitätszahl	specific inductive capacity	١٥٦
سعة حرارية	Wärmekapazität	heat (thermal) capacity	٧٨
سلسلة الجهد الكهربائي الحراري	thermoelektrische Spannungsreihe	thermoelectric voltage series	٨٥
سلك محايد	Mittelleiter	neutral wire	٢١٢
«ش»			
شبه موصّل	Halbleiter	semi-conductor	٤١
شدّة المجال	Feldstärke	field intensity (strength)	١٢٤
شريحة رقيقة	Lamelle	lamina	١٤٩
شغل ميكانيكي	mechanische Arbeit	mechanical work	٦٨
«ط»			
طاقة	Energie	energy	٦٩
طاقة حركية	kinetische Energie	kinetic energy	٦٩
طاقة وضعية	potentielle Energie	potential energy	٦٩
طاقة حرارية	Wärmeenergie	heat energy	٧٧
طاقة كهربائية	elektrische Energie	electric energy	٧٤
طلاء بالكهرباء	Galvanostegie	electroplating	٨٩
طلية مرسَّبة بالكهرباء	galvanischer Überzug	electrodeposit coating	٨٩

عربي	ألماني	إنجليزي	رقم الصفحة
«ظ»			
ظاهرة التركيز السطحي للتيار	Stromverdrängung	skin effect	١٦٣
ظاهرة بلتييه	Peltiereffekt	Peltier effect	٨٦
«ع»			
عازل كهربائي	Dielektrikum	dielectric	١٥٥
عدّاد	Zählwerk	counter	٢٥١
عدّاد حثّي	Induktionszähler	induction counter	٢٥١
عزم دوران	Drehmoment	torque	٦٩
عنصر كيميائي	chemisches Element	chemical element	٩
«ف»			
فاريستور	Varistor	varistor	٤٨
فرط الموصلية	Superleitfähigkeit	superconductivity	٤٤
فرق جهد الخطوة	Schrittspannung	step potential	٦١
فرن حثّي ذو بوتقة	Induktionstiegelofen	induction crucible furnace	١٥٠
فقد المكثّف	Kondensatorverlust	condenser loss	١٩٩
ڤولطمتر	Spannungsmesser	voltmeter	٢٣١
فولاذ مغنطيسي	magnetischer Stahl	magnetic steel	١١٤
فيرومغنطيسية	Ferromagnetismus	ferromagnetism	١١٦
فيريمغنطيسية	Ferrimagnetismus	ferrimagnetism	١١٦
«ق»			
قانون الحث	Induktionsgesetz	law of induction	١٤٠
قانون أوم	Ohmsches Gesetz	Ohm's law	٣٠
قانون جول	Joulesches Gesetz	Joule's law	٨١
قانون فاراداي	Faradaysches Gesetz	Faraday's law	٩١
قانون كولوم	Coulombsches Gesetz	Coulomb's law	١٧
قانون لينز	Lenzsches Gesetz	Lenz's law	١٣٦
قدرة ظاهرية	Scheinleistung	apparent power	١٩١
قدرة كهربائية	elektrische Leistung	electric power	٧٢
قدرة مفاعلة	Blindleistung	reactive power	١٩٢
قدرة ميكانيكية	mechanische Leistung	mechanical power	٧١
قراءة مناظرة	Analoganzeige	analogue display	٢٢١
قضيب توصيل - موصل عمومي	Sammelschiene	bus bar	١٢١
قنطرة ويتستون	Wheatstonesche Brücke	Wheatstone bridge	٢٤٠
قوانين كيرشهوف	Kirchhoffsche Gesetze	Kirchhoff's laws	٥٠
قوة تنافر - قوة منفرة	Abstoßungskraft	repulsive force	١٣٤

عربي	ألماني	إنجليزي	رقم الصفحة
قوة مغنطيسية قهرية	Koerzitivkraft	coercive force	١٣٠
قياس المقاومة	Widerstandsmessung	resistance measuring	٢٣٦
قيمة عظمى	Scheitelwert	maximum value	١٦٩
قيمة فعّالة	Effektivwert	effective value	١٧٢
قيمة متوسّطة حسابية	arithmetischer Mittelwert	arithmetic mean value	١٦٩
«ك»			
كثافة التدفّق المغنطيسي	magnetische Flußdichte	magnetic flux density	١١٣
كثافة التيار	Stromdichte	current density	٦٥
كربون منشّط	Aktivkohle	activated carbon	٩٧
كفاية	Wirkungsgrad	efficiency	١٠١
كمية الحرارة	Wärmemenge	heat quantity	٧٧
«ل»			
لفيفة المجال	Feldwicklung	field winding	
«م»			
مادة لا موصّلة	Nichtleiter	nonconductor	٢٥
مادّة الموصّل	Leiterwerkstoff	conductor material	٣٤
مادّة پارا مغنطيسية	paramagnetischer Stoff	paramagnetic material	١١٨
مادة ديا مغنطيسية	diamagnetischer Stoff	diamagnetic material	١١٨
مادة فيرّومغنطيسية	ferromagnetischer Stoff	ferromagnetic material	١١٨
مثلث المعاوقة	Widerstandsdreieck	impedance triangle	١٨٧
مجال كهربائي	elektrisches Feld	electric field	١٧
مجال مغنطيسي	Magnetfeld	magnetic field	١٠٩
مجزّئ تيار	Nebenwiderstand	shunt	٢٢٤
مجزّئ جهد	Spannungsteiler	potential divider	٥٤
مُحاثّة	Induktivität	inductance	١٤٣
محتفظية	Remanenz	remanence	١١٤
محلول جامد متبلور	Mischkristall	crystalline solid solution	١٥٠
محوّل تيار	Stromwandler	current transformer	٢٣٠
محوّل جهد	Spannungswandler	voltage transformer	٢٣٣
محوّل حراري	Thermoumformer	thermal converter	٨٦
مخطّط المتّجهات	Zeigerdarstellung	vector diagram	١٧٥
مخطّط توصيل مكافئ	Ersatzschaltbild	equivalent-circuit diagram	٢٠٠
مخمِّد	Dämpfer	damper	٢٢١
مرحّل	Relais	relay	٦٩

رقم الصفحة	إنجليزي	ألماني	عربي
١٦٠	impregnating compound	Imprägniermittel	مركّب إشراب
٩٧	accumulator	Sammler (Akkumulator)	مركم
١٠٢	Edison accumulator	Edisonsammler	مركم إديسون
١٠٢	nickel-steel accumulator	Nickel-Stahl-Sammler	مركم النيكل والفولاذ
١٠٣	nickel-cadmium accumulator	Nickel-Kadmium-Sammler	مركم النيكل والـكادميوم
٩٧	lead accumulator	Bleisammler	مركم رصاصي
٨٥	thermocouple	Thermoelement	مزدوجة حرارية
٢٠٩	phase shifter	Phasenschieber	مزيح (مزحزح) الطور
٧١	immersion heater	Tauchsieder	مسخّن غاطس
١١٧	permeability coefficient	Permeabilitätszahl	معامل الإنفاذية
١٥٦	dielectric constant	Dielektrizitätszahl	معامل العازل
١٨٤	power factor	Leistungsfaktor	معامل القدرة
٤٢	temperature coefficient	Temperaturbeiwert	معامل حراري
١٨٣	alternating current impedance	Wechselstromwiderstand	معاوقة التيار المتردّد
١١٠	horseshoe magnet	Hufeisenmagnet	مغنطيس حدوة الحصان
١١٠	ring magnet	Ringmagnet	مغنطيس حلقي
١١٠	permanent magnet	Dauermagnet	مغنطيس دائم
١٢٧	lifting magnet	Lasthebemagnet	مغنطيس رافع
١٦٧	brake magnet	Bremsmagnet	مغنطيس كبح
١٢٢	electromagnet	Elektromagnet	مغنطيس كهربائي
١٨٦	reactance	Blindwiderstand	مفاعلة
١٩٧	capacitive reactance	kapazitiver Widerstand	مفاعلة سعوية
١٥٤	change-over switch	Umschalter	مفتاح تحويل (تبديل)
٤٢	Urdox resistor	Urdoxwiderstand	مقاوم أوردكس
	protective resistor (series resistance)	Vorwiderstand	مقاوم حماية (مقاومة توال)
٣١	ohmic resistance	Ohmscher Widerstand	مقاومة أومية
٦٠	contact resistance	Übergangswiderstand	مقاومة تلامس
٥٨	fixed resistance	Festwiderstand	مقاومة ثابتة
٤٤	iron-hydrogen resistance	Eisenwasserstoffwiderstand	مقاومة حديد وهيدروجين
٩٥	internal resistance	Innenwiderstand	مقاومة داخلية
٦٠	insulation resistance	Isolationswiderstand	مقاومة عزل
١٧٣	active resistance	Wirkwiderstand	مقاومة فعّالة
٢٥	electrical resistance	elektrischer Widerstand	مقاومة كهربائية
٤٥	non-linear resistance	nichtlinearer Widerstand	مقاومة لا خطّية
٥٧	variable resistance	veränderlicher Widerstand	مقاومة متغيِّرة (ريوستات)
٣٦	specific resistance	spezifischer Widerstand	مقاومة نوعيّة
٢٢٥	rectifier	Gleichrichter	مقوّم (موحِّد)
١٤٥	free-running diode	Freilaufdiode	صمام إمرار طليق
٢٢٥	metal rectifier	Trockengleichrichter	مقوّم معدني (ذو لوح جاف)
٢٥٠	frequency meter	Frequenzmesser	مقياس تردُّد
٢٥٠	vibrating-reed frequency meter	Zungenfrequenzmesser	مقياس تردُّد ذو ريش مهتزة

رقم الصفحة	إنجليزي	ألماني	عربي
١٤٩	eddy-current brake	Wirbelstrombremse	مكبح بالتيارات الدوامِيّة
١٠٢	hydrometer	Aräometer	مكثاف السوائل (هيدرومتر)
١٥٢	condenser	Kondensator	مكثّف
١٦٢	compression condenser	Quetschkondensator	مكثّف انضغاطي
١٥٧	plate condenser	Plattenkondensator	مكثّف لوحي
١٧١	heating coil	Heizspirale	ملف تسخين
١٢٩	air-core coil	Luftspule	ملف ذو قلب هوائي
١٣١	magnetization curve	Magnetisierungslinie	منحنى التمغنط
١٠٩	matching	Anpassung	مواءمة
٣٧	resistance materials	Widerstandsbaustoffe	مواد المقاومات
١٣٠	magnetic materials	magnetische Werkstoffe	مواد مغنطيسية
٣٦	conductance	Leitwert	مواصلة
٤٧	cold conductor	Kaltleiter	موصّل بارد
٤٥	hot conductor	Heißleiter	موصّل ساخن
١٥	electrical conductor	elektrischer Leiter	موصّل كهربائي
٣٦	conductivity	Leitfähigkeit	موصّلية
٣٦	electrical conductivity	elektrische Leitfähigkeit	موصّلية كهربائية
١١٥	magnetic conductivity	magnetische Leitfähigkeit	موصّلية مغنطيسية
١٥٧	mica	Glimmer	ميكا
			«ن»
٢٢١	spiral spring	Spiralfeder	نابض حلزوني
١٥٢	current impulse	Stromstoß	نبضة تيار
٩٠	copper	Kupfer	نحاس
٩٠	electrolytic copper	Elektrolytkupfer	نحاس إلكتروليتي
١٦٣	Pythagorean theorem	Pythagoreischer Lehrsatz	نظرية فيثاغوراس
٢١٥	star point	Sternpunkt	نقطة التعادل النجمي
٨٥	measuring piont	Meßstelle	نقطة قياس
			«هـ»
٦٢	voltage drop	Spannungsabfall	هبوط الجهد
			«و»
٢٤٤	wattmeter	Leistungsmesser	واطمتر
٦٨	unit of force	Krafteinheit	وحدة القوة
١٢٤	flux linkage (ampere turns)	Durchflutung	وصلية التدفّق

